



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
Facultad de Tecnología de la Construcción

Monografía

“Diseño de Estructura de Pavimento Rígido en las Calles Luis Alfonso y El Cementerio del casco urbano del municipio de Siuna por el método de la PCA (Portland Cement Association)”

Para optar al título de Ingeniero Civil

Elaborado por

Br. Norvin Dayan Martínez Rodríguez

Tutor

Msc. Ing. José Bustamante Arteaga

Managua, Octubre de 2017

Dedicatoria

La presente monografía está dedicada a Dios, ya que gracias a él he logrado concluir mi carrera, a mi madre, porque siempre está a mi lado brindándome su apoyo y sus consejos para hacer de mí una mejor persona, a mi abuelita quien se sacrificó y luchó toda su vida por mantener a la familia siempre unida y darnos todo su amor incondicional siendo una gran ejemplo para mí, a mi abuelito, aunque no esté físicamente con nosotros, se desde el cielo siempre me cuida y me guía para que todo salga bien, a mis tíos y tías, que confiaron en mí, y me enseñaron que la familia es lo más importante en la vida, a mi hermana, primos y primas, por ser una parte esencial en mi infancia y ahora siendo mayor sé que puedo contar con ellos, a la madre de mis hijos, con quien he compartido innumerables cosas en los últimos años de mi vida, por brindarme el tiempo necesario para realizarme profesionalmente, a mis amigos, compañeros y todas aquellas personas que de una u otra manera ha contribuido para el logro de mis objetivos.

Agradecimiento

Primeramente gracias a Dios permitirme llegar a esta etapa de mi vida con salud y sabiduría para poder terminar mis estudios, a la Universidad Nacional de Ingeniería, por darme la oportunidad de formarme como un profesional y así poder competir en ámbito laboral, a mi tutor el Ing. José Bustamante Arteaga, por brindarme sus conocimientos, alentarme y estar disponible para cualquier duda que tuve en el camino de la elaboración de esta monografía, al Alcalde de Puerto Cabezas Lic. Reynaldo Francis, por darme la oportunidad de laborar en esta institución, al Ing. Jorge Pineda, Ing. Edgar Baquedano y el Lic. Lester Foster por darme la confianza y la oportunidad de poder viajar para terminar mi trabajo monográfico, a mi familia por estar dispuestos a apoyarme y animarme en todo momento desde que inicie mis estudios universitarios hasta la culminación de estos, a todos aquellas personas cercanas que influenciaron en mi para seguir adelante, doy a gracias a todos ellos por todo su apoyo brindado.

RESUMEN DEL TEMA

Con el objetivo de crear mejores condiciones de acceso en los Barrios Luis Alfonso Velásquez - Carlos Fonseca y Barrios Luis Delgadillo - Pedro Joaquín Chamorro #3, la Alcaldía Municipal de Siuna aprobó el proyecto *“Pavimentación con Concreto Hidráulico de 1,300 metros lineales de Calle en el Casco Urbano, Calle El Cementerio y Pavimentación con Concreto Hidráulico de 1,200 metros lineales de Calle en el Casco Urbano, Calle Luis Alfonso”*. Las calles en estudio se encuentran ubicadas en la Región autónoma del atlántico norte en el casco urbano del municipio de Siuna. La Calle Luis Alfonso (1300m) inicia en el Barrio Luis Alfonso Velásquez y finaliza en el Barrio Carlos Fonseca. La Calle El Cementerio (1200m) inicia en el Barrio Luis Delgadillo y finaliza en el Barrio Pedro Joaquín Chamorro #3.

El presente estudio trata sobre el “Diseño de Estructura de Pavimento Rígido en las Calles Luis Alfonso y El Cementerio del casco urbano del municipio de Siuna por el método de la PCA (Portland Cement Association)”. Este método de la PCA (Portland Cement Association) es empleado una vez que se cuenta con los datos del tráfico esperado, como el tránsito diario promedio anual y la composición vehicular del tráfico. Con esta información obtenemos el número de repeticiones esperadas para cada tipo de eje durante el periodo de diseño.

Mediante los cálculos realizados se determinó que el rodamiento actual en las calles en estudio deberá ser reciclado, hasta alcanzar un espesor total mínimo de 15.0 cm y debe ser estabilizada con la adición de cemento, en una cantidad tal que la mezcla estabilizada alcance una resistencia mínima a la compresión simple, después de 7 días de curado, de 21 kg/cm².

El TPDA para el año 2016 es de 293 vehículos por día. En ambos tramos se utilizó una tasa de crecimiento vehicular de 3.81% con lo cual en el horizonte de proyecto el tránsito promedio diario anual (TPDA) será 618 vpd.

Se determinó que el espesor de pavimento de concreto para los tramos será de 7 pulgadas de acuerdo a los análisis de fatiga y daño por erosión, de 0% y 39.07% respectivamente y con un bombeo del 3% cumpliendo con los criterios de diseño.

La dimensión del tablero será de 3.00 metros entre juntas transversales, y 2.75 metros entre longitudinales para la calle El cementerio y 3.00 metros entre juntas transversales y 2.25 metros entre longitudinales para la calle Luis Alfonso.

La importancia de este estudio radica en contribuir a dar una solución para un largo plazo a las necesidades y problemáticas de transporte locales, solventadas por la conveniencia del mejoramiento del acceso de las calles Luis Alfonso y El Cementerio del casco urbano del municipio de Siuna.

Estas calles mejoradas permitirán una mejor movilidad a los transportistas que circulen sobre las mismas, evitando que sus vehículos se dañen; además, una vez rehabilitadas le imprimirá un mayor dinamismo a la actividad productiva, económica y social que facilitará el desarrollo en todos sus órdenes, mejorando la calidad de vida de los pobladores que habitan a orilla de las calles, a los barrios localizados en la zona de influencia directa e indirecta a la vía en estudio y a la ciudad en general.

Este proyecto generará ahorros de tiempos, costos de operación vehicular, de transporte y reduciendo los riesgos de accidentes de tránsito para el transporte vehicular en su conjunto y un mejor acceso peatonal.

Contenido

I.	GENERALIDADES.....	1
1.1.	Introducción.....	1
1.2.	Macro y Micro localización	2
1.3.	Antecedentes	3
1.4.	Justificación.....	5
1.5.	Objetivos	6
II.	ESTUDIO DE SUELOS PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTO RIGIDO	7
2.1.	Estudio Geotécnico	7
2.2.	Resultados de los Sondeos Manuales	7
	Tramo: Calle el Cementerio.....	7
	Resumen de resultados de pruebas de C.B.R. saturado Calle El Cementerio.	
	10	
	Tramo: Calle Luis Alfonso.....	14
	Resumen de resultados de pruebas de C.B.R. saturado calle Luis Alfonso...	16
2.3.	Análisis de resultados.	20
2.4.	Banco de materiales	23
III.	ANÁLISIS DE TRÁFICO	34
3.1.	Elementos a tomar en cuenta	40
3.1.1.	Proyecciones de Tránsito.....	40
3.1.2.	Número de Repeticiones Esperadas por cada Eje.....	41
3.1.3.	Factores de seguridad de carga (FSL) recomendados	42
3.2.	Diseño de espesores de pavimento	43
3.2.1.	Factor de Crecimiento Anual (FCA)	43
3.3.	Tránsito de diseño en la vida útil.....	43
IV.	DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO.....	46
4.1.	Resistencia a la flexión del concreto.	46
4.2.	Cálculo del Módulo de Reacción de la Subrasante (k) de diseño	46
	1ra. prueba para calcular el espesor de losa de 6.50 pulgadas.....	47
4.3.	Esfuerzo equivalente.....	47
4.3.1.	Cálculo de Esfuerzo equivalente para pavimentos con apoyo lateral	47
4.3.2.	Relación de Esfuerzos	48

4.3.3.	Cálculo de Factores de Erosión, para pavimentos Sin Pasajuntas y Con Apoyo Lateral	49
4.4.	Análisis por fatiga Con o Sin Apoyo Lateral.	50
4.5.	Análisis por Erosión Con Apoyo Lateral.	51
4.6.	Cálculo de Espesor del pavimento para un espesor de 6.50 pulgadas.	52
2da.	prueba para calcular el Espesor de Losa de 7in.	53
4.7.	Esfuerzo Equivalente.	53
4.7.1.	Cálculo de Esfuerzo equivalente para pavimentos con apoyo lateral.	53
4.7.2.	Relación de Esfuerzos	54
4.7.3.	Cálculo de Factores de Erosión, para pavimentos Sin Pasajuntas y Con Apoyo Lateral	55
	Análisis por Fatiga Con o Sin Apoyo Lateral.	56
4.8.	Análisis por Erosión Con Apoyo Lateral.	57
	Calculo de Espesor del pavimento para un espesor de 7 pulgadas.	58
3era	prueba para calcular el Espesor de losa de 7.50in.	59
4.9.	Esfuerzo equivalente.....	59
4.9.1.	Cálculo de Esfuerzo equivalente para pavimentos con apoyo lateral 59	
4.9.2.	Relación de Esfuerzos	60
4.9.3.	Calculo de Factores de Erosión, para pavimentos Sin Pasajuntas y Con Apoyo Lateral	61
4.10.	Análisis por Fatiga Con o Sin Apoyo Lateral	62
4.11.	Análisis por Erosión Con Apoyo Lateral	63
4.12.	Cálculo de espesor del pavimento para un espesor de 7.50 pulgadas.	64
4.13.	Modulación de losa.	65
4.13.1.	Modulación de las Losas.....	65
4.13.2.	OPTIMIZACION DE LA RELACION X/Y	66
4.13.3.	PROFUNDIDAD DE LA RANURA DE LA JUNTAS.	67
4.13.4.	TERMINACIÓN SUPERFICIAL.....	67
4.13.5.	CURADO.....	68
4.13.6.	CORTE DE JUNTAS.....	68
4.13.7.	SELLO DE JUNTAS.....	69

4.13.8. APERTURA AL TRÁFICO.....	69
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	70
Conclusiones	70
Recomendaciones	71
Bibliografía	72
Anexos	I
Anexo 1. Tramo Calle el Cementerio.....	I
Anexo 2. Tramo Luis Alfonso.....	III
Anexo 3. Tipología y descripción vehicular de conteos de tráfico del sistema de administración de pavimentos.....	V
Anexo 4. Diagrama de cargas permisibles aplicados en los puntos de control. Pesos máximos permisibles por tipo de vehículos.....	VI
Anexo 5. Factor de distribución por dirección	VII
Anexo 6. Factor de distribución por carril.....	VII
Anexo 7. Periodo de diseño según tipo de carretera.	VIII
Anexo 8. Esfuerzo Equivalente para Pavimentos Sin Apoyo Lateral.....	IX
Anexo 9. Esfuerzo Equivalente para Pavimentos Con Apoyo Lateral.	X
Anexo 10. Análisis de Fatiga con o sin apoyo lateral.....	XI
Anexo 11. Factores de Erosión, para Pavimentos con Pasajuntas y Sin Apoyo Lateral	XII
Anexo 12. Factores de erosión, para pavimentos Sin Pasajuntas y Sin Apoyo Lateral	XIII
Anexo 13. Análisis por erosión Sin apoyo Lateral.....	XIV
Anexo 14. Factores de Erosión, para Pavimentos con Pasajuntas y Con Apoyo Lateral.....	XV
Anexo 15. Factores de Erosión, para Pavimentos sin Pasajuntas y Con Apoyo Lateral	XVI
Anexo 16. Análisis de Erosión con apoyo lateral.	XVII

Índice de tablas.

Tabla No. 1: Resultado de ensayos de suelos (sondeos manuales). Calle el Cementerio.....	8
Tabla No. 2: Pruebas de C.B.R. saturado calle El Cementerio grupo N° 1.....	10
Tabla No. 3: Pruebas de C.B.R. saturado calle El cementerio grupo N° 2.....	11
Tabla No. 4: Pruebas de C.B.R. saturado calle El Cementerio grupo N° 3.....	12
Tabla No. 5: Valor percentil por nivel de tránsito.....	12
Tabla No. 6: Cálculo del C.B.R. de diseño calle El Cementerio.....	13
Tabla No. 7: Resultado de ensayos de suelos (sondeos manuales). Calle Luis Alfonso.....	14
Tabla No. 8: pruebas de C.B.R. saturado calle Luis Alfonso grupo N° 1.....	16
Tabla No. 9: pruebas de C.B.R. saturado calle Luis Alfonso grupo N° 2.....	17
Tabla No. 10: pruebas de C.B.R. saturado calle Luis Alfonso grupo N° 3.....	18
Tabla No. 11: pruebas de C.B.R. saturado calle Luis Alfonso grupo N° 4.....	19
Tabla No. 12: cálculo del C.B.R. de diseño calle Luis Alfonso.....	19
Tabla No. 13: Valores del material de fundación.....	21
Tabla No. 14: Incremento en el valor k del suelo, según el espesor de una base granular cementada.....	22
Tabla No. 15: Granulometría banco El Aguilucho sondeo No. 1.....	24
Tabla No. 16: Granulometría banco El Aguilucho sondeo No. 2.....	25
Tabla No. 17: Granulometría banco El Basurero sondeo No. 1.....	26
Tabla No. 18: Granulometría banco El Basurero sondeo No. 2.....	27
Tabla No. 19: Granulometría banco Uly sondeo No. 2.....	28
Tabla No. 20: Pruebas de C.B.R. saturado calle Luis Alfonso banco El Aguilucho sondeo No. 1.....	29
Tabla No. 21: Pruebas de C.B.R. saturado calle Luis Alfonso banco El Aguilucho sondeo No. 2.....	30
Tabla No. 22: Pruebas de C.B.R. saturado calle Luis Alfonso banco El Basurero sondeo No. 1.....	31
Tabla No. 23: Pruebas de C.B.R. saturado calle Luis Alfonso banco El Basurero sondeo No. 2.....	32

Tabla No. 24: Pruebas de C.B.R. saturado calle Luis Alfonso banco Uly sondeo No.2.....	33
Tabla No. 25: TPDA histórico.....	35
Tabla No. 26: Crecimiento del tráfico promedio diario anual (TPDA).....	37
Tabla No. 27: Crecimiento del Producto Interno Bruto (PIB).....	37
Tabla No. 28: Tasa anual de crecimiento (TAC) de la población.....	38
Tabla No. 29: Proyección de tráfico para el año 2016.....	39
Tabla No. 30: Distribución por tipo de vehículo.....	39
Tabla No. 31: TPDA proyectado al año 2016 estación sumaria 2115, Siuna - Empalme Alamikamba.....	39
Tabla No. 32: Proyecciones del tráfico normal promedio diario anual (TPDA).....	40
Tabla No. 33: Número de repeticiones esperadas.....	43
Tabla No. 34: Repeticiones esperadas por eje.....	44
Tabla No. 35: Repeticiones esperadas por tipo de eje.....	45
Tabla No. 36: Esfuerzo Equivalente - Con Apoyo Lateral.....	47
Tabla No. 37: Factores de Erosión - Sin Pasajuntas - Con Apoyo Lateral.....	49
Tabla No. 38: Iteración para un espesor de prueba de 6.50 pulgadas.....	52
Tabla No. 39: Esfuerzo Equivalente - Con Apoyo Lateral.....	53
Tabla No. 40: Factores de Erosión - Sin Pasajuntas - Con Apoyo Lateral.....	55
Tabla No. 41: Iteración para un espesor de prueba de 7 pulgadas.....	58
Tabla No. 42: Esfuerzo Equivalente - Con Apoyo Lateral.....	59
Tabla No. 43: Factores de Erosión - Sin Pasajuntas - Con Apoyo Lateral.....	61
Tabla No. 44: Iteración para un espesor de prueba de 7.50 pulgadas.....	64

Índice de gráficas.

Gráfica No 1. Perfil estratigráfico Calle el Cementerio.....	9
Gráfica No. 2. Relación entre C.B.R. menor a mayor y el %C.B.R. (calle El Cementerio).....	13
Gráfica No. 3. Perfil estratigráfico calle Luis Alfonso.....	15
Grafica No. 4. Relación entre C.B.R. de menor a mayor y el %C.B.R. (calle Luis Alfonso).....	20
Gráfica No. 5. Relación aproximada entre las clasificaciones del suelo y sus valores de resistencia.....	22
Gráfica No. 6. Análisis de fatiga (Repeticiones permisibles basadas en el factor de Relación de Esfuerzo, Con o Sin Apoyo Lateral).....	50
Gráfica No. 7. Análisis de erosión. (Repeticiones permisibles basadas en el Factor de Erosión Con Apoyo Lateral).....	51
Gráfica No. 8. Análisis de fatiga (Repeticiones permisibles basadas en el factor de Relación de Esfuerzo, Con o Sin Apoyo Lateral).....	56
Gráfica No. 9. Análisis de erosión. (Repeticiones permisibles basadas en el Factor de Erosión Con Apoyo Lateral).....	57
Gráfica No. 10. Análisis de fatiga (Repeticiones permisibles basadas en el factor de Relación de Esfuerzo, Con o Sin Apoyo Lateral).....	62
Gráfica No. 11. Análisis de erosión. (Repeticiones permisibles basadas en el Factor de Erosión Con Apoyo Lateral).....	63

I. GENERALIDADES

1.1.Introducción

La Alcaldía Municipal de Siuna con el objetivo de crear mejores condiciones de acceso en los Barrios Luis Alfonso Velásquez - Carlos Fonseca y Barrios Luis Delgadillo - Pedro Joaquín Chamorro #3, aprobó el proyecto ***“Pavimentación con Concreto Hidráulico de 1,300 metros lineales de Calle en el Casco Urbano, Calle El Cementerio y Pavimentación con Concreto Hidráulico de 1,200 metros lineales de Calle en el Casco Urbano, Calle Luis Alfonso”***, cuyo análisis de diseño se está retomando como monografía para determinar el espesor del pavimento por el método de la **Portland Cement Association** (PCA).

Las calles en estudio se encuentran ubicadas en la Región Autónoma de la Costa Caribe Norte en el casco urbano del municipio de Siuna. La Calle Luis Alfonso (1300m) inicia en el Barrio Luis Alfonso Velásquez y finaliza en el Barrio Carlos Fonseca. La Calle El Cementerio (1200m) inicia en el Barrio Luis Delgadillo y finaliza en el Barrio Pedro Joaquín Chamorro #3.

Para la realización de este estudio, se utilizó información de documentos del Proyecto facilitados por la Alcaldía Municipal de Siuna, en los que se reflejan los distintos tópicos que componen los estudios de factibilidad de proyectos viales, levantamientos topográficos expeditivos e investigaciones de campo de aspectos socio-económicos que respaldan este tipo de obras.

En Nicaragua la mayoría de los pavimentos son flexibles, muy pocas carreteras son construidas con pavimento rígido debido a que se pensaba que construir con concreto hidráulico representaba largos tiempos de ejecución, estructuras de carpetas robustas, grandes cantidades de acero de refuerzo y superficies de rodamiento que al cabo de algún tiempo, se tornaban propensas al derrape de los vehículos.

1.2. Macro y Micro localización



1.3. Antecedentes

El transporte terrestre es y será en el territorio nacional el principal medio de locomoción de personas y mercancías, desde y hacia los distintos orígenes y destinos de la república y de Centroamérica. Esta modalidad de transporte ha sido tradicionalmente utilizada en todas las actividades económicas de nuestro país.

El municipio de Siuna se comunica con Managua a través de 2 carreteras transitables de todo tiempo revestidas de balastre (mezcla de arena, arcilla y piedras de hasta 1.5 cm de diámetro); una vía por Río Blanco (al sur) y la otra vía por Waslala (al sureste).

En el sector urbano de este municipio, los barrios se comunican a través de calles, callejones y caminos, los cuales se encuentran en mal estado. No existe transporte colectivo urbano en Siuna, por lo que la población se desplaza a pie, en bicicleta, motocicleta, taxis y en bestia (caballos, mulas).

En la actualidad el mal estado en que se encuentran las vías causa inconformidad en la población ya que se dificulta la circulación peatonal y de vehículos menores, debido a las cantidades considerables de baches que provocan las lluvias en los diferentes tramos de calles. Estos baches además de las afectaciones al causar daños a las unidades de transporte que circulan por la vía, afectan la salud de los pobladores principalmente en los menores de edad, debido a que se vuelven criaderos de vectores. Con el mejoramiento de la vía se pretende facilitar el acceso seguro de los pobladores y del transporte urbano disminuyendo el costo operacional de los mismos, además de contribuir a mejorar el entorno.

El tramo de camino calle el Cementerio tiene una longitud de aproximadamente de 1.2 kilómetros, con un alineamiento existente bien definido con pocas curvas horizontales, y pendientes longitudinales máximas del 6%; además de contar con obras de drenaje como es un canal revestido de mampostería paralelo a la vía de 130 metros de longitud con una sección trapezoidal de 0.48 metros de base menor, 0.80 metros de base mayor y una altura de 0.48.



Además el tramo consta de una alcantarilla cuádruple de 60 pulgadas de diámetro de Rib-Loc, en buen estado físico la cual sirve como puente vehicular y peatonal para los automotores y peatones que circulan por la zona.

El tramo de camino Luis Alfonso, se encuentra localizado en el Barrio la Luz; tiene una longitud aproximada de 1.30 kilómetros, con una alineamiento curvilíneo, compuesta por 35 curvas horizontales de radio mínimo de 16 metros, además de contar con pendiente longitudinales máximas del 15 %.



Dentro de toda la longitud del tramo existen tres obras de drenaje la primera localizada aproximadamente en la estación 0+120 consistente en 2 alcantarillas de 60 pulgadas de diámetro de Rib-Loc, la segunda obra de drenaje se encuentra localizada en la estación 0+440, en la cual hay una caja de concreto de 4.30 metros de largo por 6.40 metros de ancho y la ultima de obra de drenaje se encuentra localizada en la estación 0+800, la cual es un barril de hierro, que está en pésimas condiciones

1.4. Justificación

Este estudio se enfocó en el diseño y cálculo del espesor necesario para la carpeta de rodamiento de concreto hidráulico, contribuyendo así a dar una solución para un largo plazo a las necesidades y problemáticas de transporte locales, solventadas por la conveniencia del mejoramiento del acceso de las calles Luis Alfonso y El Cementerio del casco urbano del municipio de Siuna.

Las calles mejoradas permitirán una mejor movilidad a los transportistas que circulen sobre las mismas, evitando que sus vehículos se dañen; además, estos dos tramos de calles ya rehabilitados le imprimirá un mayor dinamismo a la actividad productiva, económica y social que facilitará el desarrollo en todos sus órdenes, mejorando la calidad de vida de los pobladores que habitan a orilla de las calles, a los barrios localizados en la zona de influencia directa e indirecta a la vía en estudio y a la ciudad en general.

Este proyecto generará ahorros de tiempos, costos de operación vehicular, de transporte y reducirá los riesgos de accidentes de tránsito para el transporte vehicular en su conjunto y un mejor acceso peatonal.

La Alcaldía del municipio de Siuna se beneficia con este estudio ya que contará con un diseño de pavimento con concreto hidráulico que mejorará la calidad de la construcción de la obra, facilitando el acceso y circulación de vehículos y peatones. Reducirá los costos de mantenimiento de las vías y mejorará el entorno del área de influencia del proyecto. De igual manera se pondrán en práctica los conocimientos adquiridos en el curso de titulación para cumplir con los requisitos de obtención del título de Ingeniero Civil.

1.5. Objetivos

Objetivo general

- Diseñar la Estructura de Pavimento Rígido en las calles Luis Alfonso y El Cementerio del casco urbano del municipio de Siuna por el método de la Portland Cement Association (PCA).

Objetivo específico

- Analizar los estudios de suelos existentes de la línea y banco de materiales para estos segmentos de calle y así determinar su potencial uso en la estructura de pavimento y de igual manera el CBR (California Bearing Ratio) de diseño.
- Retomar el Estudio de Tráfico de las calles: Luis Alfonso y El Cementerio del casco urbano del municipio de Siuna y determinar el número de repeticiones esperadas por eje durante todo el período de diseño (20 años).
- Determinar el espesor de pavimento a través del método de la Portland Cement Association (PCA).

II. ESTUDIO DE SUELOS PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTO RIGIDO

2.1. Estudio Geotécnico

Los trabajos geotécnicos de campo y laboratorio corresponden a estudios realizados por la empresa IDISA, Ingenieros Consultores. Para la correcta ejecución de los trabajos de diseño de estructura de pavimento se consideró la excavación de pozos de investigación espaciados a distancias de 100 m, con dimensiones de 30 x 30 x 150 cm de profundidad, con un mínimo de 10 sondeos por kilómetros.

De cada pozo se tomaron tantas muestras como tipos de materiales significativos fueron detectados, efectuando comparaciones visuales y al tacto para seleccionar muestras representativas de los estratos perforados. De estas muestras se realizó el registro correspondiente con datos referentes a la ubicación y profundidad del pozo, descripción visual del perfil estratigráfico, clasificación al tacto, para determinar de manera aproximada su plasticidad, textura (arenosa, gravosa o roca), presencia de agua y otros datos de interés.

2.2. Resultados de los Sondeos Manuales

Tramo: Calle el Cementerio

Después del análisis de laboratorio de materiales y suelos de este tramo, se comprobó y verifico que los tipos de suelo predominantes hasta una profundidad de 1.50 metros corresponde al tipo de suelo A-2-4 y A-2-6.

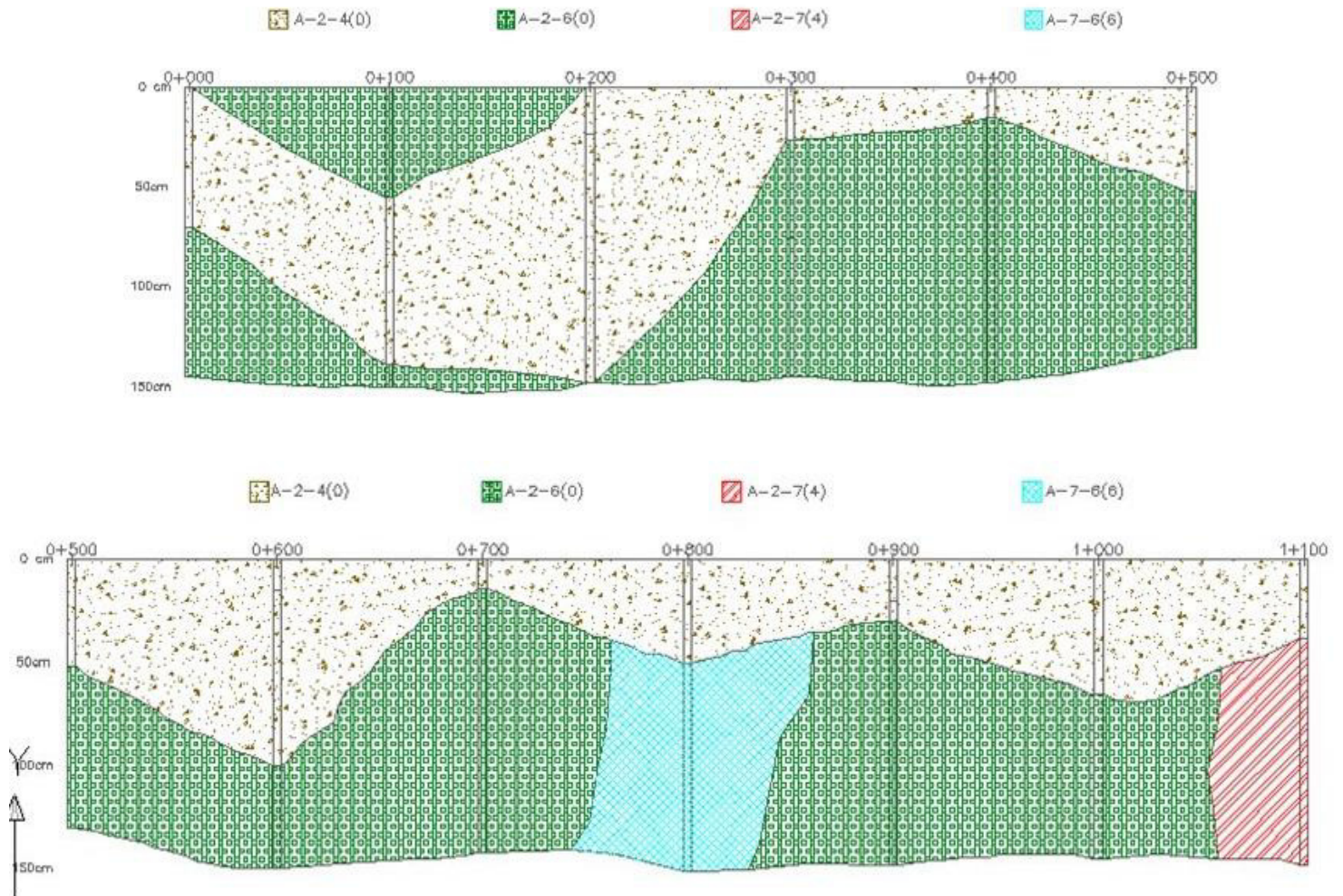
Tabla No. 1: Resultado de ensayos de suelos (sondeos manuales). Calle el Cementerio.

Sondeo N°	Estacion Ubicación	Profundidad en centimetro	Muestra N°	% Que pasa por tamiz										LL %	LP %	Clasificacion AASHTO
				2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N° 4	N° 10	N° 40	N° 200			
S-1	0+000 L/C	0-70	1	98	96	88	82	71	64	48	36	20	10	23	10	A-2-4(0)
S-1	0+000 L/C	70-145	2	95	92	88	82	73	63	45	36	24	16	31	12	A-2-6(0)
S-2	0+100 B/DER	0-55	2	95	92	88	82	73	63	45	36	24	16	31	12	A-2-6(0)
S-2	0+100 B/DER	55-139	3	98	87	73	64	53	44	30	23	15	10	27	10	A-2-4(0)
S-2	0+100 B/DER	139-150	2	95	92	88	82	73	63	45	36	24	16	31	12	A-2-6(0)
S-3	0+200 B/IZQ	0-23	1	98	96	88	82	71	64	48	36	20	10	23	10	A-2-4(0)
S-3	0+200 B/IZQ	23-148	4	92	89	82	73	63	57	43	32	10	11	24	9	A-2-4(0)
S-4	0+300 L/C	0-26	1	98	96	88	82	71	64	48	36	20	10	23	10	A-2-4(0)
S-4	0+300 L/C	26-75	2	95	92	88	82	73	63	45	36	24	16	31	12	A-2-6(0)
S-4	0+300 L/C	75-145	5	100	90	78	70	57	50	36	24	14	9	29	14	A-2-6(0)
S-5	0+400 B/DER	0-15	1	98	96	88	82	71	64	48	36	20	10	23	10	A-2-4(0)
S-5	0+400 B/DER	15-148	6	96	88	75	70	59	53	40	32	21	15	32	22	A-2-6(0)
S-6	0+500 B/IZQ	0-52	1	98	96	88	82	71	64	48	36	20	10	23	10	A-2-4(0)
S-6	0+500 B/IZQ	52-130	7	92	82	66	55	44	37	25	17	10	6	27	9	A-2-4(0)
S-7	0+600 L/C	0-15	1	98	96	88	82	71	64	48	36	20	10	23	10	A-2-4(0)
S-7	0+600 L/C	15-100	8	100	98	94	91	85	80	66	58	40	27	30	10	A-2-4(0)
S-7	0+600 L/C	100-150	9		100	99	98	95	91	79	67	47	30	36	14	A-2-6(0)
S-8	0+700 B/DER	0-14	1	98	96	88	82	71	64	48	36	20	10	23	10	A-2-4(0)
S-8	0+700 B/DER	14-142	10		100	97	95	89	63	61	27	10	6	32	11	A-2-6(0)
S-9	0+800 B/IZQ	0-50	1	98	96	88	82	71	64	48	36	20	10	23	10	A-2-4(0)
S-9	0+800 B/IZQ	50-150	11	100	97	93	92	90	88	72	70	65	60	41	13	A-7-6(6)
S-10	0+900 L/C	0-20	1	98	96	88	82	71	64	48	36	20	10	23	10	A-2-4(0)
S-10	0+900 L/C	20-30	3	98	87	73	64	53	44	30	23	15	10	27	10	A-2-4(0)
S-10	0+900 L/C	30-148	2	95	92	88	82	73	63	45	36	24	16	31	12	A-2-6(0)
S-11	1+000 B/DER	0-65	3	98	87	73	64	53	44	30	23	15	10	27	10	A-2-4(0)
S-11	1+000 B/DER	65-145	12	96	86	74	67	58	51	37	28	18	11	29	15	A-2-6(0)
S-12	1+100 B/IZQ	0-38	1	98	96	88	82	71	64	48	36	20	10	23	10	A-2-4(0)
S-12	1+100 B/IZQ	38-148	13	100	98	95	93	91	79	50	45	40	35	66	42	A-7-6(4)

Fuente: IDISA

De acuerdo a la clasificación AASHTO los tipos de suelos más encontrados fueron A-2-4(0) y A-2-6(0)

Grafica N° 1. Perfil estratigráfico Calle El Cementerio.



Fuente elaboración propia

Resumen de resultados de pruebas de C.B.R. saturado Calle El Cementerio.

Tabla No. 2:

Proyecto: Estudio y Diseño Calle de 1300 Mts El Cementerio
Sondeo No.: _____ **Fecha:** 10/5/2011
Clasificación: A-2-4(0), A-2-6(0) **Muestra No.:** Grupo N° 1
Profundidad: _____ **Estación:** _____

RESUMEN DE RESULTADOS DE PRUEBAS DE C.B.R. SATURADO

GRUPO	% DE COMPACTACION USADO	RESISTENCIA A LA PENETRACION, KGS.								C.B.R. A PENETRACION DE:	
		025"	050"	075"	100"	150"	200"	300"	400"	0.1"	0.2"
1	90%	4	14	21	30	40	50	66	90		
	Lbs.	41	142	214	306	408	510	673	918	10.20	11.30
								Promedio:		10.75	
2	95%	8	25	46	67	92	110	138	165		
	Lbs.	81	255	469	683	938	1122	1407	1683	22.70	24.90
								Promedio:		23.80	
3	100%	15	35	69	100	134	163	205	246		
	Lbs.	153	357	704	1,020	1,367	1,662	2,091	2,509	34.00	36.90
								Promedio:		35.45	

Fuente: IDISA

La prueba de CBR saturado nos determina los porcentajes de CBR de acuerdo al % de compactación usado.

Tabla No.3:

Proyecto: Estudio y Diseño Calle de 1300 Mts El Cementerio
Sondeo No.: **Fecha:** 10/5/2011
Clasificación: A-7-6(6) **Muestra No.:** Grupo N° 2
Profundidad: **Estación:**

RESUMEN DE RESULTADOS DE PRUEBAS DE C.B.R. SATURADO

GRUPO	% DE COMPACTACION USADO	RESISTENCIA A LA PENETRACION, KGS.								C.B.R. A PENETRACION DE:	
		025"	050"	075"	100"	150"	200"	300"	400"	0.1"	0.2"
22	90%	1	3	5	7	9	12	17	20		
	Lbs.	10	30	51	71	91	122	173	204	2.36	2.71
								Promedio:		2.54	
7	95%	3	7	10	11	13	17	25	32		
	Lbs.	30	71	102	112	132	173	255	326	3.73	3.84
								Promedio:		3.79	
8	100%	5	9	12	13	16	20	31	42		
	Lbs.	51	91	122	132	163	204	316	428	4.40	4.53
								Promedio:		4.47	

Fuente: IDISA

Tabla No. 4:

Estudio y Diseño Calle de 1300 Mts El
Cementerio

Proyecto:**Sondeo No.:****Fecha:** 10/5/2011**Clasificación:**

A-2-6(0), A-2-7(0).

Muestra**No.:** Grupo N° 3**Profundidad:****Estación:****RESUMEN DE RESULTADOS DE PRUEBAS DE C.B.R. SATURADO**

GRUPO	% DE COMPACTACION USADO	RESISTENCIA A LA PENETRACION, KGS.								C.B.R. A PENETRACION DE:	
		025"	050"	075"	100"	150"	200"	300"	400"	0.1"	0.2"
23	90%	1	2	3	4	5	8	11	13		
	Lbs.	10	20	30	41	51	81	112	132	1.36	1.80
									Promedio:	1.58	
9	95%	2	4	6	8	10	13	16	20		
	Lbs.	20	41	61	81	102	132	163	204	2.70	2.93
									Promedio:	2.82	
10	100%	4	6	8	12	15	19	25	32		
	Lbs.	41	61	81	122	153	193	255	326	4.06	4.28
									Promedio:	4.17	

Fuente: IDISA

De todas las muestras analizadas se utilizó la que representa un 95% de compactación PROCTOR STANDARD ya que ésta es la que más se asemeja a la realidad en el campo.

Tabla No. 5: Valor percentil por nivel de tránsito.

Nivel de tránsito	Valor percentil para diseño de subrasante
< de 10,000 ESAL's	60
Entre 10,000 y 1,000,000 ESAL's	75
> de 1,000,000 ESAL's	87.5

Fuente: Instituto de Asfalto, (MS-1) 1,991

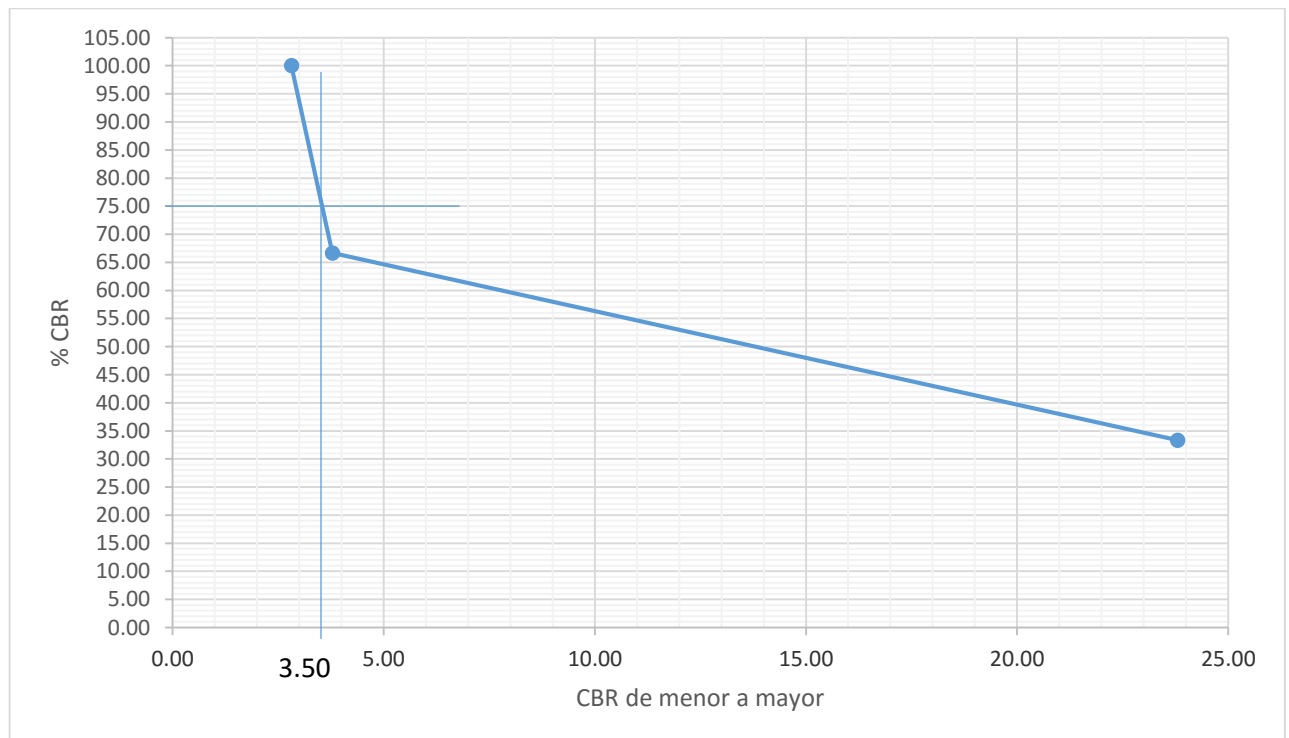
Tabla No. 6: Cálculo del CBR de diseño calle El cementerio.

Resultado de ensayo		Análisis			
N°	CBR	CBR menor a mayor	Frecuencia	Numero de ensayos, iguales o mayores	%CBR
1	23.80	2.82	1	3	100.00
2	3.79	3.79	1	2	66.67
3	2.82	23.80	1	1	33.33
Total			3	Observaciones	

Fuente: Elaboración propia

El cálculo del CBR de diseño nos permite conocer la frecuencia de repetición del CBR en las muestras. En este caso como los ejes equivalentes son 746,060 es menor de 1,000,000 el valor percentil para diseño es el 75% de la Tabla No. 5 y por lo tanto el CBR de diseño de la gráfica No. 2 es de 3.50.

Gráfica No. 2 Relación entre C.B.R. menor a mayor y el %C.B.R. (Calle El Cementerio)



Fuente Elaboracion Propia

Tramo: Calle Luis Alfonso

Después del análisis de laboratorio de materiales y suelos de este tramo, se comprobó y verificó que los tipos de suelo predominantes hasta una profundidad de 1.50 metros corresponde al tipo de suelo A-2-4 y A-7-6.

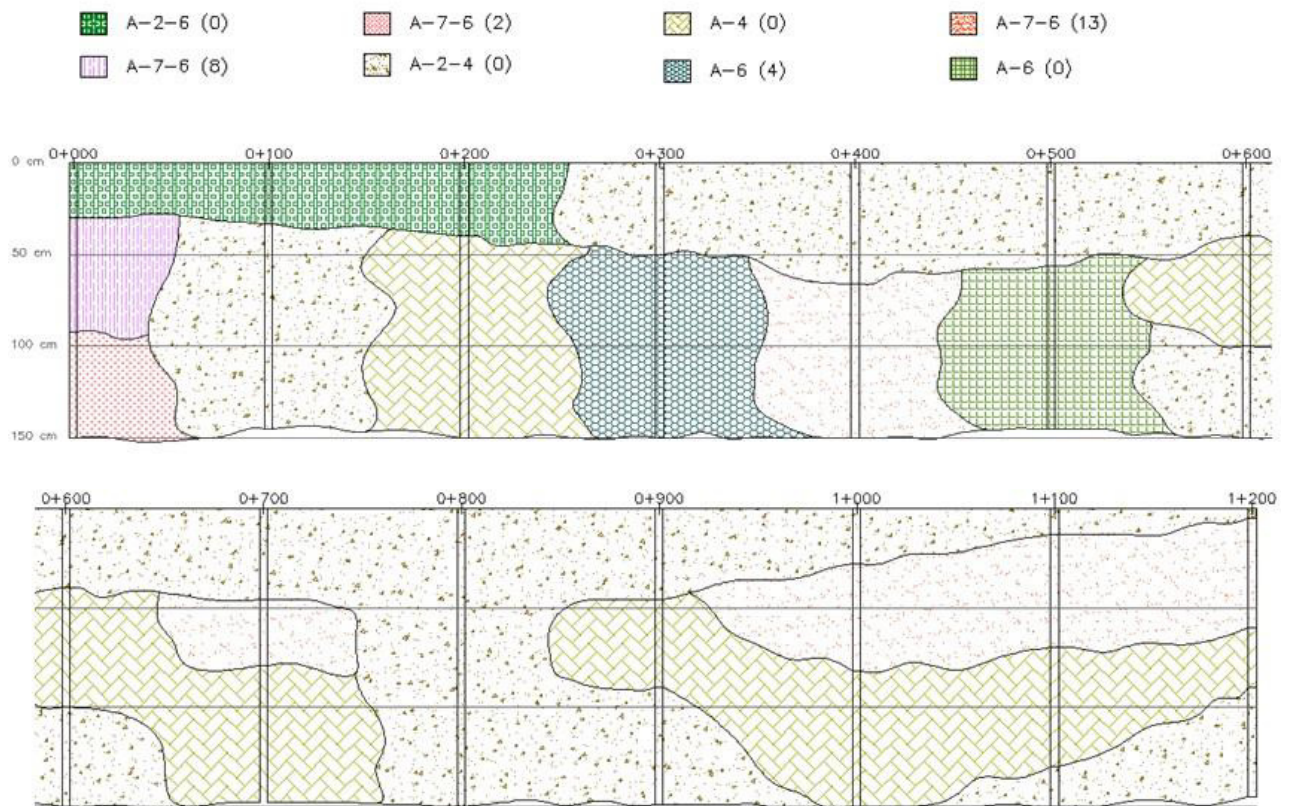
Tabla No. 7: Resultado de ensayos de suelos (sondeos manuales). Calle Luis Alfonso.

Sondeo N°	Estacion Ubicación	Profundidad en centimetro	Muestra N°	% Que pasa por tamiz										LL %	LP %	Clasificacion AASHTO
				2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N° 4	N° 10	N° 40	N° 200			
S-1	0+000 L/C	0-30	1	95	85	73	66	57	51	37	24	14	8	31	11	A-2-6(0)
S-1	0+000 L/C	30-92	2				100	99	97	88	85	77	57	44	19	A-7-6(8)
S-1	0+000 L/C	92-150	3		100	99	98	91	81	63	59	52	38	41	18	A-7-6(2)
S-2	0+100 B/DER	0-33	1	95	85	73	66	57	51	37	24	14	8	31	11	A-2-6(0)
S-2	0+100 B/DER	33-145	4	91	88	83	79	69	62	46	31	19	10	24	8	A-2-4(0)
S-3	0+200 B/IZQ	0-40	1	95	85	73	66	57	51	37	24	14	8	31	11	A-2-6(0)
S-3	0+200 B/IZQ	40-115	5					100	99	94	92	83	53	35	7	A-2-4(0)
S-3	0+200 B/IZQ	115-150	6						100	94	90	80	53	29	5	A-4(0)
S-4	0+300 L/C	0-50	7	100	96	90	82	72	65	56	47	32	17	28	8	A-2-4(0)
S-4	0+300 L/C	50-121	8						100	98	96	89	69	37	19	A-6(4)
S-4	0+300 L/C	121-150	9				100	99	98	92	89	81	60	38	21	A-6(4)
S-5	0+400 B/IZQ	0-66	7	100	96	90	82	72	65	56	47	32	17	28	8	A-2-4(0)
S-5	0+400 B/IZQ	66-150	10						100	93	90	85	74	44	20	A-7-6(13)
S-6	0+500 B/IZQ	0-56	7	100	96	90	82	72	65	56	47	32	17	28	8	A-2-4(0)
S-6	0+500 B/IZQ	56-145	11			100	97	94	90	82	78	62	41	34	11	A-6(0)
S-7	0+600 L/C	0-40	7	100	96	90	82	72	65	56	47	32	17	28	8	A-2-4(0)
S-7	0+600 L/C	40-100	12		100	99	98	96	92	83	78	64	36	27	3	A-4(0)
S-7	0+600 L/C	100-150	13		100	98	96	95	88	78	70	53	27	27	7	A-2-4(0)
S-8	0+700 B/DER	0-46	7	100	96	90	82	72	65	56	47	32	17	28	8	A-2-4(0)
S-8	0+700 B/DER	46-79	10						100	93	90	85	74	44	20	A-7-6(13)
S-8	0+700 B/DER	79-148	12		100	99	98	96	92	83	78	64	36	27	3	A-4(0)
S-9	0+800 B/IZQ	0-63	7	100	96	90	82	72	65	56	47	32	17	28	8	A-2-4(0)
S-9	0+800 B/IZQ	63-150	14	97	95	93	87	72	61	32	29	22	12	29	8	A-2-4(0)
S-10	0+900 L/C	0-46	7	100	96	90	82	72	65	56	47	32	17	28	8	A-2-4(0)
S-10	0+900 L/C	46-90	12		100	99	98	96	92	83	78	64	36	27	3	A-4(0)
S-10	0+900 L/C	90-149	13		100	98	96	95	88	78	70	53	27	27	7	A-2-4(0)
S-11	1+000 B/DER	0-28	7	100	96	90	82	72	65	56	47	32	17	28	8	A-2-4(0)
S-11	1+000 B/DER	28-82	10						100	93	90	85	74	44	20	A-7-6(13)
S-11	1+000 B/DER	82-150	12		100	99	98	96	92	83	78	64	36	27	3	A-4(0)
S-12	1+100 B/IZQ	0-13	7	100	96	90	82	72	65	56	47	32	17	28	8	A-2-4(0)
S-12	1+100 B/IZQ	13-70	10						100	93	90	85	74	44	20	A-7-6(13)
S-12	1+100 B/IZQ	70-130	12		100	99	98	96	92	83	78	64	36	27	3	A-4(0)
S-12	1+100 B/IZQ	130-150	13		100	98	96	95	88	78	70	53	27	27	7	A-2-4(0)

Fuente: IDISA

De acuerdo a la clasificación AASHTO los tipos de suelos más encontrados fueron A-2-4(0) y A-7-6(0)

Grafica No. 3. Perfil estratigráfico calle Luis Alfonso.



Fuente: IDISA

Resumen de resultados de pruebas de C.B.R. saturado calle Luis Alfonso

Tabla No. 8:

Proyecto: Estudio y Diseño Calle de 1200 Mts Luis Alfonso
Sondeo No.: _____ **Fecha:** 10/5/2011
Clasificación: A-2-4(0), A-2-6(0). **Muestra No.:** Grupo N° 1
Profundidad: _____ **Estación:** _____

RESUMEN DE RESULTADOS DE PRUEBAS DE C.B.R. SATURADO

GRUPO	% DE COMPACTACION USADO	RESISTENCIA A LA PENETRACION, KGS.								C.B.R. A PENETRACION DE:	
		025"	050"	075"	100"	150"	200"	300"	400"	0.1"	0.2"
19	90%	3	8	14	20	26	34	46	61		
	Lbs.	30	81	142	204	265	346	469	622	6.80	7.68
								Promedio:		7.24	
11	95%	8	17	25	34	43	51	66	77		
	Lbs.	81	173	255	347	438	520	673	785	11.50	11.50
								Promedio:		11.50	
12	100%	15	36	49	61	77	110	146	164		
	Lbs.	153	367	499	622	785	1,122	1,489	1,673	20.70	24.90
								Promedio:		22.80	

Fuente: IDISA

La prueba de CBR saturado nos determina los porcentajes de CBR de acuerdo al % de compactación usado.

Tabla No. 9:

Proyecto: Estudio y Diseño Calle de 1200 Mts Luis Alfonso
Sondeo No.: _____ **Fecha:** 10/5/2011
Clasificación: A-7-6(2)(8)(13) **Muestra No.:** Grupo N° 2
Profundidad: _____ **Estación:** _____

RESUMEN DE RESULTADOS DE PRUEBAS DE C.B.R. SATURADO

GRUPO	% DE COMPACTACION USADO	RESISTENCIA A LA PENETRACION, KGS.								C.B.R. A PENETRACION DE:	
		025"	050"	075"	100"	150"	200"	300"	400"	0.1"	0.2"
20	90%	2	4	6	8	11	13	16	20		
	Lbs.	20	41	61	81	112	132	163	204	2.70	2.93
								Promedio:		2.82	
13	95%	4	7	10	12	14	18	22	26		
	Lbs.	41	71	102	122	142	183	224	265	4.06	4.06
								Promedio:		4.06	
14	100%	6	9	13	16	21	26	31	38		
	Lbs.	61	91	132	163	214	265	316	387	5.43	5.88
								Promedio:		5.66	

Fuente: IDISA

Tabla No. 10:

Proyecto: Estudio y Diseño Calle de 1200 Mts Luis Alfonso
Sondeo No.: _____ **Fecha:** 10/5/2011
Clasificación: A-4(0) **Muestra No.:** Grupo N° 3
Profundidad: _____ **Estación:** _____

RESUMEN DE RESULTADOS DE PRUEBAS DE C.B.R. SATURADO

GRUPO	% DE COMPACTACION USADO	RESISTENCIA A LA PENETRACION, KGS.								C.B.R. A PENETRACION DE:	
		025"	050"	075"	100"	150"	200"	300"	400"	0.1"	0.2"
21	90%	1	2	3	4	5	8	11	14		
	Lbs.	10	20	30	41	51	81	112	142	1.36	1.80
								Promedio:		1.58	
15	95%	2	3	5	7	8	11	15	19		
	Lbs.	20	30	51	71	81	112	153	193	2.36	2.48
								Promedio:		2.42	
16	100%	3	5	8	10	12	16	20	26		
	Lbs.	30	51	81	102	122	163	204	265	3.40	3.62
								Promedio:		3.51	

Fuente: IDISA

Tabla No. 11:

Proyecto:	Estudio y Diseño Calle de 1200 Mts Luis Alfonso				
Sondeo No.:		Fecha:	10/5/2011		
Clasificación:	A-6(0) (4)	Muestra No.:	Grupo N° 4		
Profundidad:		Estación:			

RESUMEN DE RESULTADOS DE PRUEBAS DE C.B.R. SATURADO

GRUPO	% DE COMPACTACION USADO	RESISTENCIA A LA PENETRACION, KGS.								C.B.R. A PENETRACION DE:	
		025"	050"	075"	100"	150"	200"	300"	400"	0.1"	0.2"
22	90%	2	4	6	8	10	13	17	21		
	Lbs.	20	41	61	81	102	132	173	214	2.70	2.93
								Promedio:		2.82	
17	95%	3	6	8	10	13	17	20	25		
	Lbs.	30	61	81	102	132	173	204	255	3.40	3.84
								Promedio:		3.62	
18	100%	5	9	11	13	16	20	26	32		
	Lbs.	51	91	112	132	163	204	265	326	4.40	4.53
								Promedio:		4.47	

Fuente: IDISA

Tabla No. 12: Cálculo del C.B.R. de diseño calle Luis Alfonso

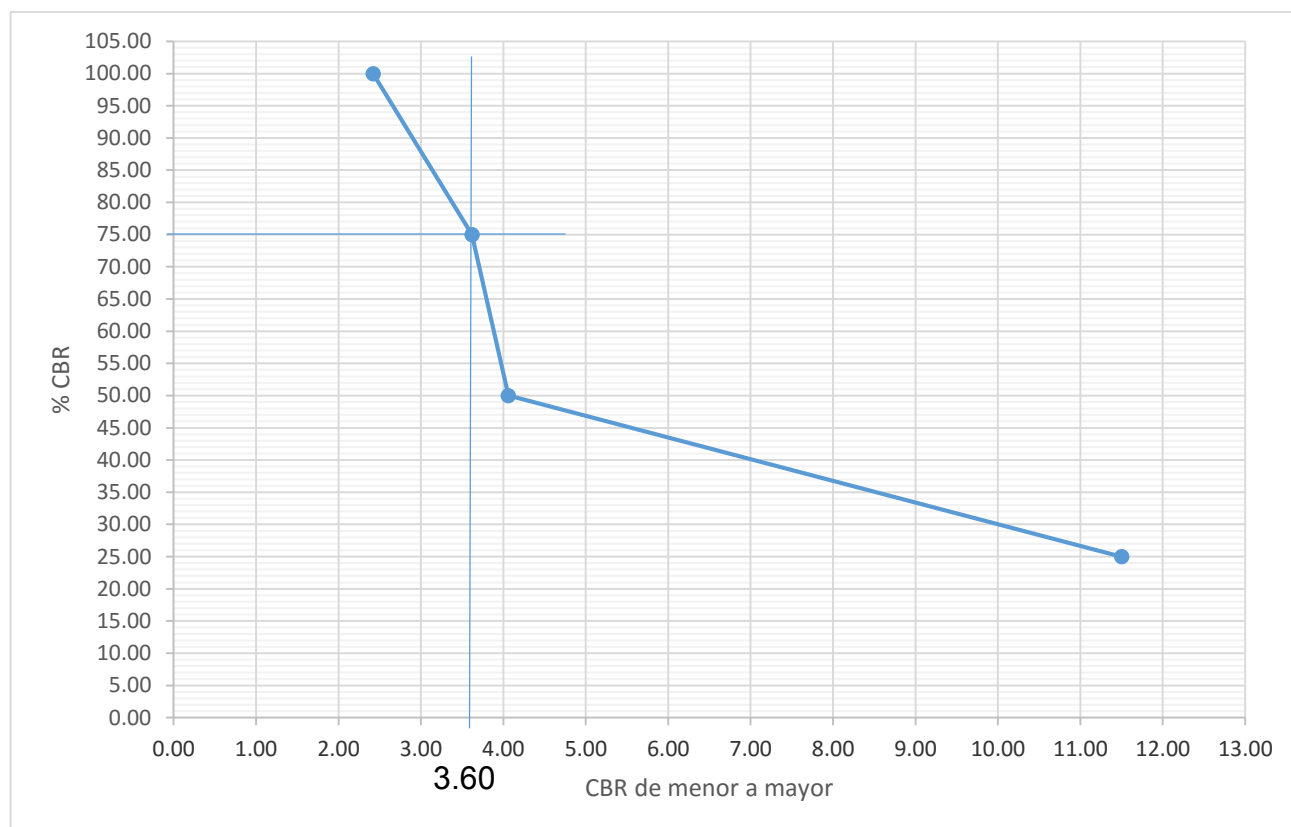
Resultado de ensayo		Análisis			
N°	CBR	CBR menor a mayor	Frecuencia	Numero de ensayos, iguales o mayores	%CBR
1	11.50	2.42	1	4	100.00
2	4.06	3.62	1	3	75.00
3	2.42	4.06	1	2	50.00
4	3.62	11.50	1	1	25.00
Total			4	Observación	

Fuente: Elaboración propia

El cálculo del CBR de diseño nos permite conocer la frecuencia de repetición del CBR en las muestras. En este caso como los ejes equivalentes son 746,060 es

menor de 1,000,000 el valor percentil para diseño es el 75% de la Tabla No. 5 y por lo tanto el CBR de diseño de la gráfica No. 4 es de 3.60.

Gráfica No. 4. de Relación entre C.B.R. de menor a mayor y el %C.B.R. (Calle Luis Alfonso).



Fuente Elaboración Propia

2.3. Análisis de resultados.

En general los materiales que componen la superficie de rodamiento de la carretera actual son materiales gravosos y arenosos con arcillas los cuales al estar en contacto con el agua productos de las lluvias deteriora por completo la vía razón por la cual el rodamiento actual deberá ser reciclado, hasta alcanzar un espesor total mínimo de 15.0 cm y debe ser estabilizada con la adición de cemento, en una cantidad tal que la mezcla estabilizada alcance una resistencia mínima a la compresión simple, después de 7 días de curado, de 21 kg/cm².

Conforme los resultados del estudio geotécnico elaborado por la Empresa Consultora IDISA, que caracterizó la subrasante por medio del CBR. A continuación se presentan los resultados calculados para el CBR de diseño:

Tabla No. 13: Valores del material de fundación.

CALLE	CBR de diseño (%)	Mr (Lb/Pulg²)	K (psi/plg)
EL CEMENTERIO	3.50	5250	111.13
LUIS ALFONSO	3.60	5400	113.4

Fuente: Elaboración propia con datos de IDISA.

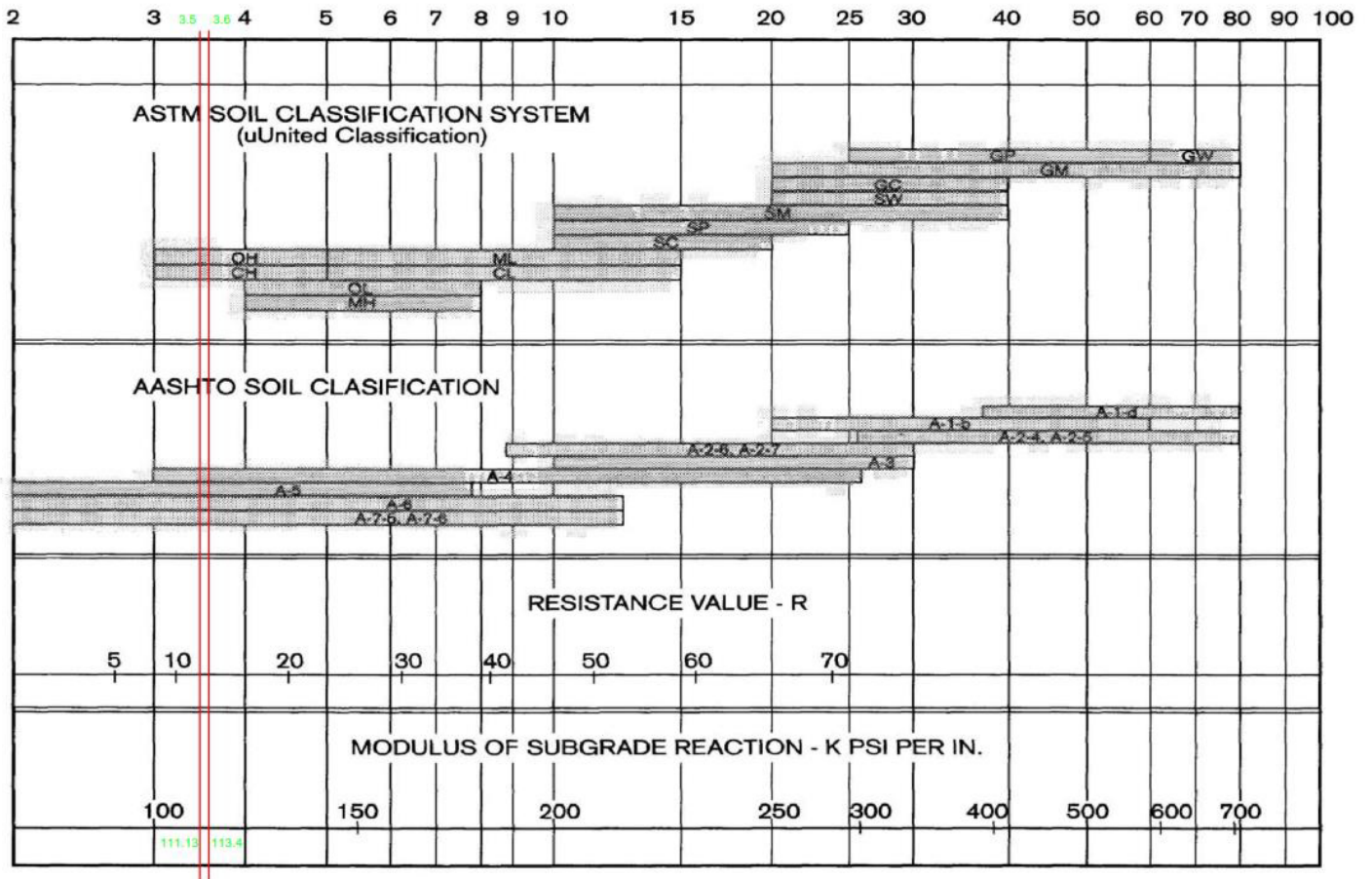
Donde:

Módulo resiliente del suelo (Mr) es igual a 1500 x CBR ya que el CBR es menor del 10%.

Módulo de reacción de la subrasante (K) se determina mediante la Gráfica No. 5 considerando el CBR.

Para efecto de diseño utilizaremos un CBR promedio de 3.55% dando como resultado un valor k de 112.26 Psi/in.

Gráfica No. 5. Relación aproximada entre las clasificaciones del suelo y sus valores de resistencia.



Fuente: AASHTO

Tabla No. 14: Incremento en el valor k del suelo, según el espesor de una base granular cementada.

k - Suelo - Sub-base (pci)				
k del Suelo (pci)	Espesor de la sub-base			
	4"	6"	8"	10"
50	170	230	310	390
100	280	400	520	640
200	470	640	830	-----

Fuente: CEMEX

Cálculo del incremento k

k del suelo	100	112.26	200
Espesor 6"	400	X1= 429.424	640

$$\begin{array}{rclcl}
 200-100= & 100 & \times & 87.74 & 200-112.26 \\
 640-400= & 240 & \times & 640-X1 & 640-X1
 \end{array}$$

$$640-X1 = 240 \times 87.74 / 100 = 210.576$$

$$X1 = 640 - 210.576$$

Para una base estabilizada de 6" con cemento y un valor k del suelo de 112.26 Pci, éste se incrementa hasta 429.424 Pci siendo éste el valor a utilizar para el diseño final.

2.4. Banco de materiales

Los bancos de materiales en la ciudad de Siuna se encuentran ubicadas en las zonas rurales algunos están es su estado natural sin haber sido explotados por lo que para poder extraerlo se debe ubicar y verificar si el terreno a explotar tiene dueño o si pertenece a la comunidad. Para el estudio de suelo del proyecto se ubicaron tres posibles bancos de materiales: el Aguilucho, Comunidad Ullý y el Basurero de los cuales se realizaron sondeos manuales por cada uno de los banco para su debido análisis el cual se muestra en las siguientes tablas de granulometría y CBR:

Tabla No. 15:

CLIENTE:	Alcaldía Municipal de Siuna
OPERADOR:	Norman Sánchez
PROYECTO:	Estudio y Diseño e Calles de Siuna
FECHA:	9/5/2011

ENSAYES		
MUESTRA No.		1
UBICACIÓN		Siuna
MATERIAL		Banco: El Aguilucho
SONDEO		1
PROFUNDIDAD		Piso de Banco
Granulometría (A.S.T.M. C 136-46 ó D 422-54 T)		
% Que pasa por tamiz		
	3"	
	2"	91
	1 1/2"	78
	1"	59
	3/4"	48
	1/2"	36
	3/8"	27
	N°4	16
	N°10	10
	N°40	5
	N°200	3
Ensayes Adicionales (A.S.T.M.)		
Límite Líquido	(D 423-54 T)	30
Índice de Plasticidad	(D 424-54 T)	9
Clasificación H.R.B.		A-2-4(0)
P.V.S Máximo kg/m³	(D 698-58 T)	2,055
Humedad Optima	(D698-58T)	6.4
C.B.R.	(AASHTO T-180)	
P.V.S.S kg/m³		1,474
Factor Abundamiento		1.39

Fuente: IDISA

Tabla No. 16:

CLIENTE:	Alcaldía Municipal de Siuna
OPERADOR:	Norman Sánchez
PROYECTO:	Estudio y Diseño e Calles de Siuna
FECHA:	9/5/2011

ENSAYES		
MUESTRA No.		1
UBICACIÓN		Siuna
MATERIAL		Banco: El Aguilucho
SONDEO		2
PROFUNDIDAD		Piso de Banco
Granulometría (A.S.T.M. C 136-46 ó D 422-54 T)		
% Que pasa por tamiz		
	3"	
	2"	98
	1 1/2"	96
	1"	83
	3/4"	72
	1/2"	56
	3/8"	46
	N°4	29
	N°10	16
	N°40	8
	N°200	5
Ensayes Adicionales (A.S.T.M.)		
Límite Líquido	(D 423-54 T)	28
Índice de Plasticidad	(D 424-54 T)	8
Clasificación H.R.B.		A-2-4(0)
P.V.S Máximo kg/m³	(D 698-58 T)	2,148
Humedad Optima	(D698-58T)	9.0
C.B.R.	(AASHTO T-180)	
P.V.S.S kg/m³		1,666
Factor Abundamiento		1.28

Fuente: IDISA

Tabla No. 17:

CLIENTE:	Alcaldía Municipal de Siuna
OPERADOR:	Norman Sánchez
PROYECTO:	Estudio y Diseño e Calles de Siuna
FECHA:	9/5/2011

ENSAYES		
MUESTRA No.		1
UBICACIÓN		Siuna
MATERIAL		Banco: El Basurero
SONDEO		1
PROFUNDIDAD		Piso de Banco
Granulometría (A.S.T.M. C 136-46 ó D 422-54 T)		
% Que pasa por tamiz		
	3"	
	2"	94
	1 1/2"	85
	1"	65
	3/4"	53
	1/2"	38
	3/8"	31
	N°4	19
	N°10	12
	N°40	7
	N°200	4
Ensayes Adicionales (A.S.T.M.)		
Límite Líquido	(D 423-54 T)	26
Índice de Plasticidad	(D 424-54 T)	6
Clasificación H.R.B.		A-1-a(0)
P.V.S Máximo kg/m³	(D 698-58 T)	2,070
Humedad Optima	(D698-58T)	8.0
C.B.R.	(AASHTO T-180)	
P.V.S.S kg/m³		1,610
Factor Abundamiento		1.28

Fuente: IDISA

Tabla No. 18:

CLIENTE:	Alcaldía Municipal de Siuna
OPERADOR:	Norman Sánchez
PROYECTO:	Estudio y Diseño e Calles de Siuna
FECHA:	9/5/2011

ENSAYES		
MUESTRA No.		1
UBICACIÓN		Siuna
MATERIAL		Banco: El Basurero
SONDEO		2
PROFUNDIDAD		Piso de Banco
Granulometría (A.S.T.M. C 136-46 ó D 422-54 T)		
% Que pasa por tamiz		
	3"	
	2"	93
	1 1/2"	78
	1"	60
	3/4"	49
	1/2"	35
	3/8"	28
	N°4	16
	N°10	9
	N°40	5
	N°200	3
Ensayes Adicionales (A.S.T.M.)		
Límite Líquido	(D 423-54 T)	28
Índice de Plasticidad	(D 424-54 T)	8
Clasificación H.R.B.		A-2-4(0)
P.V.S Máximo kg/m³	(D 698-58 T)	2,065
Humedad Optima	(D698-58T)	5.9
C.B.R.	(AASHTO T-180)	
P.V.S.S kg/m³		1,544
Factor Abundamiento		1.28

Fuente: IDISA

Tabla No. 19:

CLIENTE:	Alcaldía Municipal de Siuna
OPERADOR:	Norman Sánchez
PROYECTO:	Estudio y Diseño e Calles de Siuna
FECHA:	9/5/2011

ENSAYES		
MUESTRA No.		1
UBICACIÓN		Siuna
MATERIAL		Banco: Comunidad Ullý
SONDEO		2
PROFUNDIDAD		0 - 15
Granulometría (A.S.T.M. C 136-46 ó D 422-54 T)		
% Que pasa por tamiz		
	3"	
	2"	97
	1 1/2"	84
	1"	62
	3/4"	49
	1/2"	33
	3/8"	27
	N°4	16
	N°10	8
	N°40	3
	N°200	2
Ensayes Adicionales (A.S.T.M.)		
Límite Líquido	(D 423-54 T)	29
Índice de Plasticidad	(D 424-54 T)	7
Clasificación H.R.B.		A-2-4(0)
P.V.S Máximo kg/m³	(D 698-58 T)	2,088
Humedad Óptima	(D698-58T)	6.8
C.B.R.	(AASHTO T-180)	
P.V.S.S kg/m³		1,615
Factor Abundamiento		1.29

Fuente: IDISA

Tabla No. 20:

Proyecto: Estudio y Diseño Calle de Siunas

Sondeo No.: Banco: El Aguilucho **Fecha:** 13/5/2011

Clasificación: A-2-4(0) **Muestra No.:** 1

Profundidad: **Sondeo:** 1

RESUMEN DE RESULTADOS DE PRUEBAS DE C.B.R. SATURADO

GRUPO	% DE COMPACTACION USADO	RESISTENCIA A LA PENETRACION, KGS.								C.B.R. A PENETRACION DE:	
		025"	050"	075"	100"	150"	200"	300"	400"	0.1"	0.2"
5	90%	7	20	36	60	82	110	149	196		
	Lbs.	71	204	367	612	836	1122	1520	1999	20.40	24.90
									Promedio:	22.65	
9	95%	12	47	89	110	145	170	218	262		
	Lbs.	122	479	907	1122	1479	1734	2224	2672	37.40	38.50
									Promedio:	37.95	
10	100%	28	60	125	210	297	370	469	560		
	Lbs.	285	612	1,275	2,142	3,029	3,774	4,784	5,713	71.40	83.80
									Promedio:	77.60	

Fuente: IDISA

Tabla No. 21:

Proyecto: Estudio y Diseño Calle de Siuna

Sondeo No.: Banco: El Aguilucho **Fecha:** 13/5/2011

Clasificación: A-2-4(0) **Muestra No.:** 1

Profundidad: **Sondeo:** 2

RESUMEN DE RESULTADOS DE PRUEBAS DE C.B.R. SATURADO

GRUPO	% DE COMPACTACION USADO	RESISTENCIA A LA PENETRACION, KGS.								C.B.R. A PENETRACION DE:	
		025"	050"	075"	100"	150"	200"	300"	400"	0.1"	0.2"
6	90%	10	24	60	110	145	180	260	374		
	Lbs.	102	244	612	1122	1479	1836	2652	3815	37.40	40.80
									Promedio:	39.10	
11	95%	16	60	190	310	405	510	616	720		
	Lbs.	163	612	1938	3162	4131	5202	6284	7345	105.40	115.60
									Promedio:	110.50	
12	100%	40	100	240	396	520	650	766	849		
	Lbs.	408	1,020	2,448	4,039	5,304	6,631	7,814	8,661	134.60	147.30
									Promedio:	140.95	

Fuente: IDISA

Tabla No. 22:

Proyecto: Estudio y Diseño Calle de Siunas

Sondeo No.: Banco: El Basurero **Fecha:** 13/5/2011

Clasificación: A-1-a(0) **Muestra No.:** 1

Profundidad: **Sondeo:** 1

RESUMEN DE RESULTADOS DE PRUEBAS DE C.B.R. SATURADO

GRUPO	% DE COMPACTACION USADO	RESISTENCIA A LA PENETRACION, KGS.								C.B.R. A PENETRACION DE:	
		025"	050"	075"	100"	150"	200"	300"	400"	0.1"	0.2"
1	90%	12	28	50	104	141	180	310	416		
	Lbs.	122	285	510	1061	1438	1836	3162	4243	35.30	40.80
									Promedio:	38.05	
2	95%	21	64	180	290	410	500	626	781		
	Lbs.	214	652	1836	2958	4182	5100	6386	7967	98.60	113.30
									Promedio:	105.95	
3	100%	40	88	230	380	506	602	743	866		
	Lbs.	408	897	2,346	3,876	5,162	6,141	7,579	8,834	129.20	136.40
									Promedio:	132.80	

Fuente: IDISA

Tabla No. 23:

Proyecto: Estudio y Diseño Calle de Siunas

Sondeo No.: Banco: El Basurero **Fecha:** 13/5/2011

Clasificación: A-2-4(0) **Muestra No.:** 1

Profundidad: **Sondeo:** 2

RESUMEN DE RESULTADOS DE PRUEBAS DE C.B.R. SATURADO

GRUPO	% DE COMPACTACION USADO	RESISTENCIA A LA PENETRACION, KGS.								C.B.R. A PENETRACION DE:	
		025"	050"	075"	100"	150"	200"	300"	400"	0.1"	0.2"
4	90%	9	18	33	60	80	100	160	220		
	Lbs.	91	183	336	612	816	1020	1632	2244	20.40	22.60
									Promedio:	21.50	
7	95%	16	31	62	121	166	220	318	421		
	Lbs.	163	316	632	1234	1693	2244	3244	4294	41.10	49.80
									Promedio:	45.45	
8	100%	30	60	123	198	310	378	477	568		
	Lbs.	306	612	1,254	2,019	3,162	3,856	4,866	5,794	67.30	85.60
									Promedio:	76.45	

Fuente: IDISA

Tabla No. 24:

Proyecto:	Estudio y Diseño Calle de Siunas			
Sondeo No.:	Banco: Uly	Fecha:	13/5/2011	
Clasificación:	A-2-4(0)	Muestra No.:	1	
Profundidad:		Sondeo:	2	

RESUMEN DE RESULTADOS DE PRUEBAS DE C.B.R. SATURADO

GRUPO	% DE COMPACTACION USADO	RESISTENCIA A LA PENETRACION, KGS.								C.B.R. A PENETRACION DE:	
		025"	050"	075"	100"	150"	200"	300"	400"	0.1"	0.2"
20	90%	8	19	31	65	87	110	160	204		
	Lbs.	81	194	316	663	887	1122	1632	2081	22.10	24.90
									Promedio:	23.50	
15	95%	15	38	65	106	139	166	210	266		
	Lbs.	153	387	663	1081	1418	1693	2142	2713	36.00	37.60
									Promedio:	36.80	
16	100%	30	60	107	160	216	301	416	526		
	Lbs.	306	612	1,091	1,632	2,203	3,070	4,244	5,366	54.40	68.20
									Promedio:	61.30	

Fuente: IDISA

De acuerdo a los resultados obtenidos de laboratorio los suelos encontrados corresponde a suelos tipo A-2-4 (0) y A-1-a (0) que corresponde a suelos con características de excelentes a buenas para utilizarla de base o subrasante según la clasificación de la AASHTO 93. Sin embargo estos bancos de materiales no serán utilizados debido a que el material existente de la calle será estabilizado con cemento lo que brindara mayor capacidad de carga que garantizara una subrasante adecuada.

III. ANÁLISIS DE TRÁFICO

La insuficiencia de datos sobre el comportamiento del Tráfico en el Proyecto: “Pavimentación con Concreto Hidráulico de 1,300 metros lineales de Calles en el Casco Urbano, Calle Cementerio. Pavimentación con Concreto Hidráulico de 1200 metros lineales de Calles en el Caso Urbano, Calle Luis Alfonso”, no permite establecer un modelo de crecimiento y de proyección, por lo que la Metodología del Estudio consistirá en determinar la tasa de crecimiento en función de la estación permanente más cercana del Sistema Nacional de Conteo del Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI) y utilizar estos datos en las proyecciones de tráfico respectivas partiendo de datos conocidos del sector de Siuna en cuanto al tráfico que se genera en este poblado.

Los factores que se utilizan para las proyecciones del tráfico y que impactan fuertemente son: los crecimientos poblacionales, los consumos de combustibles, el incremento o disminución en el parque automotor y las oscilaciones del Producto Interno Bruto (PIB), por lo que mínimas variaciones en los rubros que se asumen para los crecimientos de las Tasas Anuales de Crecimiento (TAC) de los factores socioeconómicos, pueden provocar cambios significativos en el volumen vehicular proyectado y su composición.

Estas premisas son de mucha importancia para el diseño de los espesores de pavimento, debido a que estos cambios provocan alteraciones en las concentraciones, tipologías e intensidades del tráfico, así como en los tipos de vehículos que circulan por la red vial en su conjunto. Es por ello que los Volúmenes de Tráfico en el Año horizonte, su comportamiento y composición, son los elementos que definen las características geométricas y estructurales con que será diseñada la nueva vía.

Este hecho hace, que se realice un análisis exhaustivo de los diversos factores que intervienen en el crecimiento de los flujos de tráfico y su composición, de forma que permita establecer una tendencia muy próxima a la realidad, bajo la enunciación de

hipótesis derivadas de posibles escenarios futuros del comportamiento económico y social del país, que impacten en el comportamiento del tráfico que circulará por las calles en estudio.

Fundamentado en lo anterior y con los datos del Anuario de Aforos de Trafico 2015 de la Dirección de Administración Vial (DAV) del Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI), se tiene que la ruta de SIUNA – EMPALME ALAMIKAMBA de 285 vehículos de TPDA, valor a utilizar para la estimación del tráfico que se proyectará al año 2016 con la tasa de crecimiento que calcularemos:

Tabla No. 25: TPDA histórico.

N°	Código NIC	Est.	Tipo	Nombre del Tramo	Año	TPDA
157	NIC-21B	2115	ECS	Siuna - Emp. Alamikamba	2001	144
					2005	212
					2014	750
					2015	282

Fuente: Anuario de Aforos de Trafico 2015 (MTI); Pag. 156

El TPDA para el año 2014 varia con una diferencia considerable por lo que para el cálculo de la tasa de crecimiento no lo tomaremos en cuenta así mismo los vehículos tipo Cx – Rx >= 5e ya que no son característicos de la zona y utilizaremos

la fórmula $TC = \left[\left(\frac{TPDA_i}{TPDA_o} \right)^{1/n} \right] - 1$; tomada de la pag 14 de Anuario de Aforos

de Trafico 2015 (MTI) en dónde;

TC = Tasa de crecimiento.

TPDA_i = Trafico Promedio Diario Actual.

TPDA_o = Trafico Promedio Diario Actual del Año Base.

n = La diferencia de años.

Para el año 2001 $TC = \left[\left(\frac{212}{144} \right)^{1/4} \right] - 1 = 0.1015 * 100 = 10.15\%$

Para el año 2005 $TC = \left[\left(\frac{282}{212} \right)^{1/10} \right] - 1 = 0.0289 * 100 = 2.89\%$

Por tanto para el año 2015 será un promedio de los años 2001 y 2005

$$TC = (10.15 + 2.89)/2 = 6.52\%$$

La tasa de crecimiento da como resultado 6.52% este valor se considera algo elevado si tomamos en cuenta la zona en estudio por lo que se considerara otros factores para determinar la tasa de crecimiento.

Las proyecciones de tráfico se basan en datos existentes de conteos de tráfico, las que se recopilaron en la Dirección de Administración Vial (DAV) del MTI, por lo cual se hará uso de la Tasa Anual de Crecimiento (TAC) histórica de la estación Maestra o Permanente N° 902, que es la que gobierna el sistema vial donde está circunscrito este corredor vial, motivado principalmente por la falta de estadísticas en el tramo a estudiar.

Con la meta de establecer la Rehabilitación y Mejoramiento del sector para efectos de las proyecciones del año horizonte se define que el tipo de tráfico que será proyectado es el Tráfico Normal o Tráfico actual.

Dicha alternativa modela las proyecciones del tráfico a partir de tres variables indicadas anteriormente y que se presentan en el Tabla No. 25, el Tabla No. 26 y el Tabla No. 27.

A continuación los cuadros:

Tabla No. 26: Crecimiento del Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA).

NIC	EST.	TIPO	NOMBRE DEL TRAMO	AÑO	TPDA	TAC (%)
NIC-9	902	ECD	BOACO - EL PORTON			
				2005	680	7.06%
				2006	728	11.13%
				2007	809	-1.61%
				2008	796	-1.01%
				2009	788	4.19%
				2010	821	1.52%
				2013	859	5.38%
				2015	954	
Calculo de TAC tomando en cuenta desde el año 2005			TASA CRECIMIENTO ANUAL PROMEDIO (TAC)			3.81%

Fuente: Anuario de Aforos de Trafico 2015 (MTI); Pag. 135

Tabla No. 27: Crecimiento del Producto Interno Bruto (PIB).

AÑO	PRODUCTO INTERNO BRUTO (%)
2012	6.5
2013	4.9
2014	4.8
2015	4.9
2016	4.7
TASA CRECIMIENTO ANUAL PROMEDIO (TAC)	5.16%

Fuente: BCN (INFORME ANUAL 2016)

Tabla No. 28: Tasa Anual de Crecimiento (TAC) de la Población.

AÑO	TASA ANUAL DE CRECIMIENTO POBLACIONAL (%)
1998	3.30
1999	3.30
2000	2.20
2001	2.15
2002	2.09
2003	2.03
2004	1.97
2005	1.92
2006	1.89
2007	1.86
2008	1.83
2009	1.78
TASA CRECIMIENTO ANUAL PROMEDIO (TAC)	2.19%

Fuente: BCN

Tráfico Actual o Normal

Es el tráfico que circula actualmente sobre la vía y que crecerá independiente de las condiciones existentes de geometría y estructurales.

El cálculo del Tráfico Actual o Normal se realiza a partir del análisis de las estadísticas de tráfico efectuados por el Sistema Nacional de Conteos de Tráfico de la Dirección de Administración Vial (DAV) del Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI) en la estación sumaria N° 902 para establecer las proyecciones.

Tabla No. 29: Proyección de tráfico para el año 2016.

NIC	ESTACION	TC	3.81%	TPDA	
		TIPO	TRAMO	2015	2016
NIC-21B	2115	ECD	Siuna - Empalme Alamikamba	282	293

Fuente Propia con información del MTI (Anuario de aforos de tráfico año 2015).

En el caso de la distribución por tipo de vehículo se utilizará el porcentaje de distribución de la estación permanente de conteo 2115 del año 2015 obteniendo los siguientes datos:

Tabla No. 30: Distribución por tipo de vehículo.

AÑO 2015	Motos	Vehículos de pasajeros				Vehículos de carga			TOTAL
		Autos	Jeep	Cam.	Bus 30+s	Liv. 5 t	2- C2 5+t	Tx-Sx >=5 e.	
TPDA	64	21	4	58	29	9	71	26	282
% TPDA	22.69%	7.45%	1.42%	20.57%	10.28%	3.19%	25.18%	9.22%	100.00%

Fuente propia con datos del Anuario de aforos de tráfico año 2015 (MTI)

De tal forma que el TPDA con su distribución por tipo de vehículo al 2016, de SIUNA – EMPALME ALAMIKAMBA es el siguiente:

Tabla No. 31: TPDA proyectado al año 2016 estación sumaria 2115, Siuna - Empalme Alamikamba

TPDA PROYECTADO AL 2016 ESTACION SUMARIA 2115, SIUNA - EMPALME ALAMIKAMBA									
AÑO 2016	Motos	Vehiculos de pasajeros				Vehiculos de carga			TOTAL
		Autos	Jeep	Cam.	Bus 30+s	Liv. 2-5 t	C2 5+t	Tx-Sx >=5 e.	
TPDA ESTACION 2115	67	22	4	60	30	9	74	27	293

Fuente propia en base a los datos del MTI Estación 2115 (Anuario de aforos de tráfico año 2015).

3.1. Elementos a tomar en cuenta

3.1.1. Proyecciones de Tránsito

La aplicación de los criterios planteados anteriormente, nos generan como resultado final los datos que se reflejan en la Tabla No. 15, presentándose las proyecciones del Tráfico Normal.

Tabla No. 32: Proyecciones del Tráfico Normal Promedio Diario Anual (TPDA).

Año	Motos	Vehículos de pasajeros				Vehículos de carga			Total (vpd)
		Autos	Jeep	Cam.	Bus 30+s	Liv. 2-5 t	C2 5+t	Tx-Sx >=5 e.	
2016	67	22	4	60	30	9	74	27	293
2017	68	23	4	63	31	10	77	28	304
2018	72	24	4	65	32	10	80	29	316
2019	75	24	5	67	34	10	83	30	328
2020	77	25	5	70	35	11	86	31	340
2021	80	26	5	73	36	11	89	33	353
2022	83	27	5	75	38	12	92	34	366
2023	87	28	5	78	39	12	96	35	380
2024	89	29	6	81	41	13	99	36	394
2025	93	30	6	84	42	13	103	38	409
2026	96	32	6	87	44	14	107	39	425
2027	100	33	6	91	45	14	111	41	441
2028	104	34	7	94	47	15	115	42	458
2029	107	35	7	98	49	15	120	44	475
2030	112	37	7	101	51	16	124	45	493
2031	117	38	7	105	53	16	129	47	512
2032	121	40	8	109	55	17	134	49	532
2033	124	41	8	114	57	18	139	51	552
2034	130	43	8	118	59	18	144	53	573
2035	136	44	8	122	61	19	150	55	595
2036	139	46	9	127	64	20	156	57	618

Fuente Elaboración Propia con información del MTI.

3.1.2. Número de Repeticiones Esperadas por cada Eje

Toda la información referente al tráfico termina siendo empleada para conocer el número de repeticiones esperadas durante todo el período de diseño de cada tipo de eje. Este valor se obtiene haciendo uso del tránsito normal promedio diario anual (TPDA), el porcentaje que representa cada tipo de eje en el TPDA, el factor de crecimiento del tráfico, el factor sentido, el factor de carril y el período de diseño.

$$\text{Repeticiones Esperadas (RE)} = TPDA * \%Te * FS * FC * Pd * FCA * 365$$

Donde;

TPDA: Tránsito Promedio Diario Anual.

%Te: % TPDA de Vehículos Cargados.

FS: Factor de Sentido.

FC: Factor de Carril.

Pd: Período de diseño.

FCA: Factor de Crecimiento Anual

Donde;

Tc: Tasa de Crecimiento

n: Período de Diseño

365: días del año

Es importante especificar la composición del tráfico, es decir, que se detalle el tráfico por tipo de vehículo, para que de esta manera se pueda identificar los tipos y pesos de los ejes que van a circular sobre el pavimento.

- **%Te**

Se asumirá para el diseño que todos los vehículos están completamente cargados por lo que el valor será igual a 1.00

- **Factor de Sentido**

El factor de sentido se emplea para diferenciar las vialidades de un sentido de las de doble sentido, de manera que para vialidades en doble sentido utilizaremos un factor de 0,5.

- **Factor de Carril**

Se analiza el número de carriles por sentido mediante el factor carril. Este factor da el porcentaje de vehículos que circulan por el carril de la derecha, que es el de más tráfico. La carretera de diseño presenta un carril por sentido por lo cual el factor de carril es 1.0 (Ver anexo 6).

3.1.3. Factores de seguridad de carga (FSL) recomendados

- ✓ En los casos especiales con muy altos volúmenes de tráfico pesado y cero Mantenimiento el FSL recomendado es 1.3.
- ✓ Para autopistas y vialidades de varios carriles en donde se presenta un flujo ininterrumpido de tráfico y altos volúmenes de tráfico pesado el FSL recomendado es 1.2.
- ✓ En autopistas y vialidades urbanas con volúmenes moderados de tráfico pesado el FSL recomendado es 1.1.
- ✓ En relación a caminos y calles secundarias con muy poco tráfico pesado el FSL sugerido es 1.

En este estudio se hará uso del $FSL = 1$, debido a que corresponde a calles secundarias con muy poco tráfico pesado.

3.2. Diseño de espesores de pavimento

Datos para el diseño

1. Tasa de crecimiento = 3.81%.
2. Periodo de diseño = 20 años.
3. CBR= 3.20%.
4. Resistencia del concreto a flexión a los 28 días: 4500Psi.

3.2.1. Factor de Crecimiento Anual (FCA)

Para obtener el factor de crecimiento anual del tráfico (FCA) de manera exacta, se realiza a partir de la siguiente formula:

$$FCA = \frac{((1+g)^n - 1)}{(g)(n)} \quad FCA = \frac{((1+0.0381)^{20} - 1)}{(0.0381 \times 20)} = 1.46$$

FCA = Factor de Crecimiento Anual.

n = Vida útil en años.

g = Tasa de crecimiento anual, en %.

3.3. Tránsito de diseño en la vida útil

Tabla No. 33: Número de repeticiones esperadas.

Tipo de vehículo	TPDA	%Te	Factor de sentido	Factor de carril	Periodo de diseño	Factor de crecimiento	Días de un año	Transito diario
Autos	22	1	0.5	1	20	1.46	365.00	117,238.00
Jeep	4	1	0.5	1	20	1.46	365.00	21,316.00
Cam.	60	1	0.5	1	20	1.46	365.00	319,740.00
Bus 30+s	30	1	0.5	1	20	1.46	365.00	159,870.00
Liv. 2-5 t	9	1	0.5	1	20	1.46	365.00	47,961.00
C2 5+t	74	1	0.5	1	20	1.46	365.00	394,346.00
Tx-Sx >=5e.	27	1	0.5	1	20	1.46	365.00	143,883.00
Total repeticiones a partir de Bus 30+s ya que el método no considera vehículos livianos								746,060.00

Fuente Elaboración Propia en base a información del MTI.

Tabla No. 34: Repeticiones esperadas por eje.

TIPO DE VEHICULO	Tipo de eje	CARGAS POR EJE (KIPS)	TRANSITO DIARIO
Autos	Sencillo	2.2	117,238
	Sencillo	2.2	117,238
Jeep	Sencillo	2.2	21,316
	Sencillo	2.2	21,316
Cta.	Sencillo	2.2	319,740
	Sencillo	4.4	319,740
Bus 30+s	Sencillo	11	159,870
	Sencillo	22	159,870
Liv. 2-5 t	Sencillo	8.8	47,961
	Sencillo	17.6	47,961
C2 5+t	Sencillo	4.5	394,346
	Sencillo	9	394,346
Tx-Sx >=5 e.	Sencillo	5	143,883
	Sencillo	9	143,883
	Sencillo	6.67	143,883
	Sencillo	6.67	143,883
	Sencillo	6.67	143,883

Fuente Elaboración Propia.

Para determinar el tipo de eje y la carga por eje ver Anexo 4.

Tabla No. 35: Repeticiones esperadas por tipo de eje.

EJES SENCILLOS		
EJES SENCILLOS	Carga del eje, en Kips	Repeticiones esperadas
	2.2	596,848
	4.4	319,740
	4.5	394,346
	5	143,883
	6.67	431,649
	8.8	47,961
	9	538,229
	11	159,870
	17.6	47,961
	22	159,870

Fuente Elaboración Propia.

El método de la PCA no toma en cuenta las cargas por eje menores a 8kips por lo que para el análisis del cálculo de diseño de espesor de pavimento se tomara la Tabla No. 33 A partir de los 8.8kips.

IV. DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO

El análisis del Diseño de Pavimento Rígido conlleva a la determinación del espesor adecuado de la estructura de pavimento rígido.

Para la realización de este estudio, se utilizó el método de la PCA (Portland Cement Association, auxiliado de la AASHTO 93) para lo que se ejecutaron los siguientes cálculos:

- Resistencia a la flexión del concreto (Módulo de Rotura, MR).
- Resistencia de la Sub-rasante o del conjunto Sub-rasante/Sub-base (k).
- Relación de esfuerzos.

4.1. Resistencia a la flexión del concreto.

La resistencia a la flexión del concreto es un valor propuesto que es usado en el diseño de pavimentos rígidos. En Nicaragua por lo general se recomienda como mínimo el uso de concreto con resistencia a la flexión de 310 Kg/cm²; usualmente el concreto se analiza mediante el ensayo de resistencia a la compresión. Debido a esto se hace la conversión para obtener el valor a flexión mediante la siguiente fórmula:

$$MR = 10\sqrt{f'c(PSI)}$$

$$MR = 10\sqrt{4,500(PSI)}$$

$$MR = 670.82$$

En donde MR es el Módulo de Rotura.

4.2. Cálculo del Módulo de Reacción de la Subrasante (k) de diseño

Conforme los resultados del estudio geotécnico elaborado por IDISA, en el que se caracterizó la subrasante por medio del CBR, a continuación se presentan los resultados para una base estabilizada de 6" con cemento y un valor k del suelo de

112.26 Pci el que se incrementa hasta 429.424 Pci siendo este último el valor a utilizar para el diseño del espesor de pavimento a usar en las calles en estudio.

1ra. prueba para calcular el espesor de losa de 6.50 pulgadas

4.3. Esfuerzo equivalente

El valor de **K** se toma del cálculo del Módulo de Reacción de la Subrasante (**k**) de diseño y según el espesor asumido inicialmente de 6.50 pulgadas se calcularán los esfuerzos equivalentes y el factor de erosión para sus debidos análisis. Por lo tanto, el valor para los ejes sencillos y dobles se encontrará tomando en cuenta que la losa será sin pasajuntas y con apoyo lateral.

4.3.1. Cálculo de Esfuerzo equivalente para pavimentos con apoyo lateral

Para realizar los cálculos del Esfuerzo equivalente se utilizaron los datos de la Tabla No. 22 tomando en cuenta que la losa es con apoyo lateral y tiene un espesor de prueba de 6.5 pulg. Debido a que el valor **k** de la subrasante se encuentra entre los valores 300 y 500 pci, se realiza una regla de tres compuesta cuyo procedimiento nos arroja el valor del Esfuerzo Equivalente del Eje Sencillo y del Eje Doble.

Tabla No. 36: Esfuerzo Equivalente - Con Apoyo Lateral

(Ver tabla completa en Anexo No. 9)

Eje Sencillo / Eje Tandem / Eje Tridem

Espesor de Losa, (pulgadas)	k de la subrasante, pci					
	300			500		
	Sen	Tan	Tri	Sen	Tan	Tri
6.5	243	203	166	223	188	159

Fuente Cemex.

Ejes sencillos espesor de prueba 6.50in			
Modulo K	300	429.424	500
Esfuerzo equivalente	243	X1= 230.05800	223

$$\begin{array}{rcl}
 500-300= & 200 & \\
 223-243= & -20 &
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{rcl}
 500-429.424= & 70.576 & \\
 223-X1 & &
 \end{array}$$

$$223-X1 = (-20 * 70.576)/200 = -7.0576$$

$$X1 = 223 + 7.0576$$

Los cálculos realizados nos reflejan que el Esfuerzo Equivalente del Eje Sencillo corresponde a X1= 230.058 pci.

4.3.2. Relación de Esfuerzos

La relación de esfuerzos se calcula dividiendo el Esfuerzo Equivalente de acuerdo al tipo de eje entre el módulo de ruptura.

$$R. E. = \frac{E. E.}{M. R.}$$

Donde:

R.E.: Relación de Esfuerzo

E.E.: Esfuerzo Equivalente

M.R.: Módulo de Rotura

Por lo tanto la Relación de Esfuerzos para Ejes Sencillos es de:

$$R. E. \text{ (para Ejes Sencillos)} = \frac{230.058}{670.82}$$

$$R. E. \text{ (para Ejes Sencillos)} = \mathbf{0.343}$$

4.3.3. Cálculo de Factores de Erosión, para pavimentos Sin Pasajuntas y Con Apoyo Lateral

Para realizar los cálculos del Factor de Erosión se utilizaron los datos de la Tabla No. 23 tomando en cuenta que la losa es Sin Pasajuntas y con apoyo lateral y tiene un espesor de prueba de 6.5 pulg. Debido a que el valor **k** de la subrasante se encuentra entre los valores 300 y 500 pci, se realiza una regla de tres compuesta cuyo procedimiento nos arroja el Factor de Erosión por tipo de eje (sencillo y doble).

Tabla No. 37: Factores de Erosión - Sin Pasajuntas - Con Apoyo Lateral
(Ver tabla completa en Anexo No. 15).

Eje Sencillo / Eje Tandem / Eje Tridem

Espesor de Losa, (pulgadas)	k de la subrasante, pci					
	300			500		
	Sen	Tan	Tri	Sen	Tan	Tri
6.5	2.79	2.79	2.79	2.76	2.73	2.72

Fuente CEMEX.

Ejes sencillos espesor de prueba 6.5in			
Modulo K	300	429.424	500
Factor erosion	2.79	Y1= 2.77100	2.76

$$\begin{array}{rcl}
 500-300= & 200 & \\
 2.76-2.79= & -0.03 &
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{rcl}
 500-429.424= & 70.576 & \\
 2.76-Y1 & &
 \end{array}$$

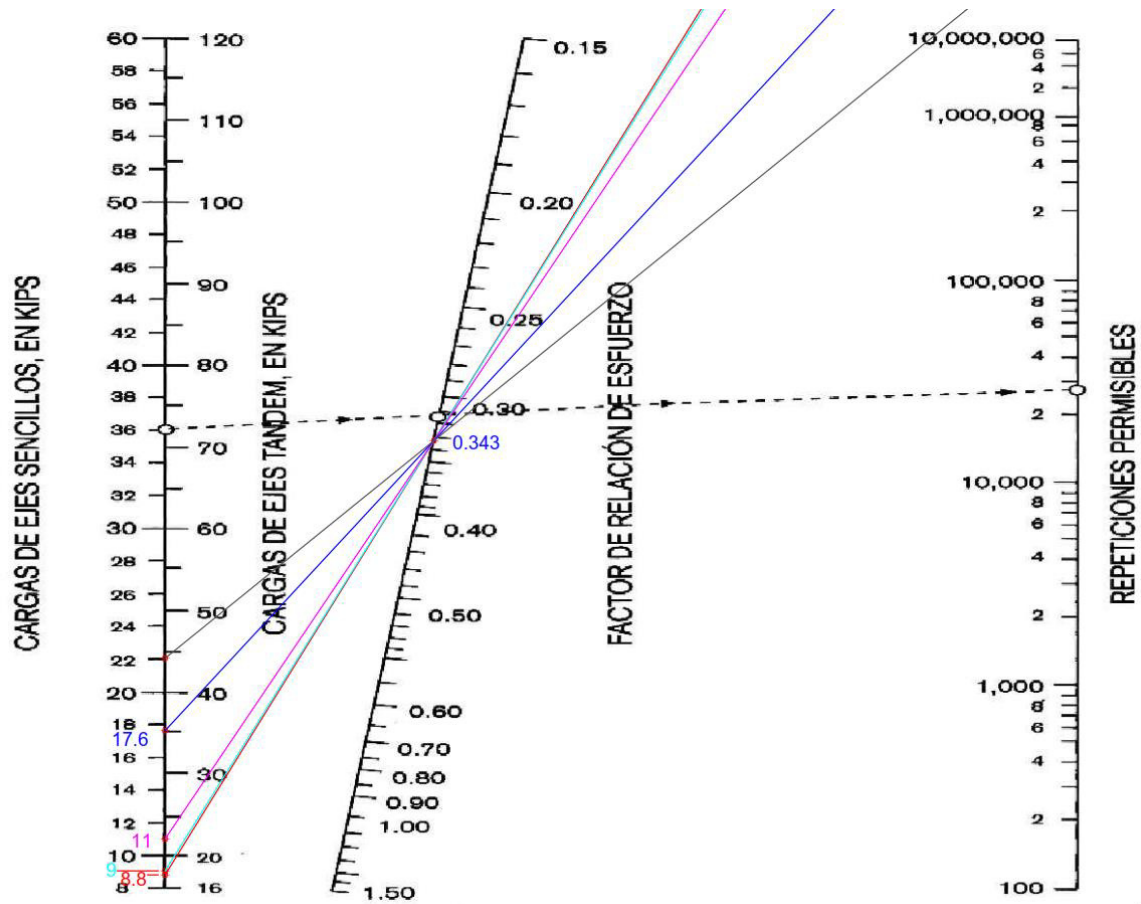
$$2.76-Y1 = (70.576 * -0.03)/200 = -0.01059$$

$$Y1 = 2.76 + 0.01059$$

El resultado del Factor de Erosión del Eje Sencillo es igual a 2.771

4.4. Análisis por fatiga Con o Sin Apoyo Lateral.

Grafica No. 6 Análisis de Fatiga (Repeticiones permisibles basadas en el factor de Relación de Esfuerzo, Con o Sin Apoyo Lateral).

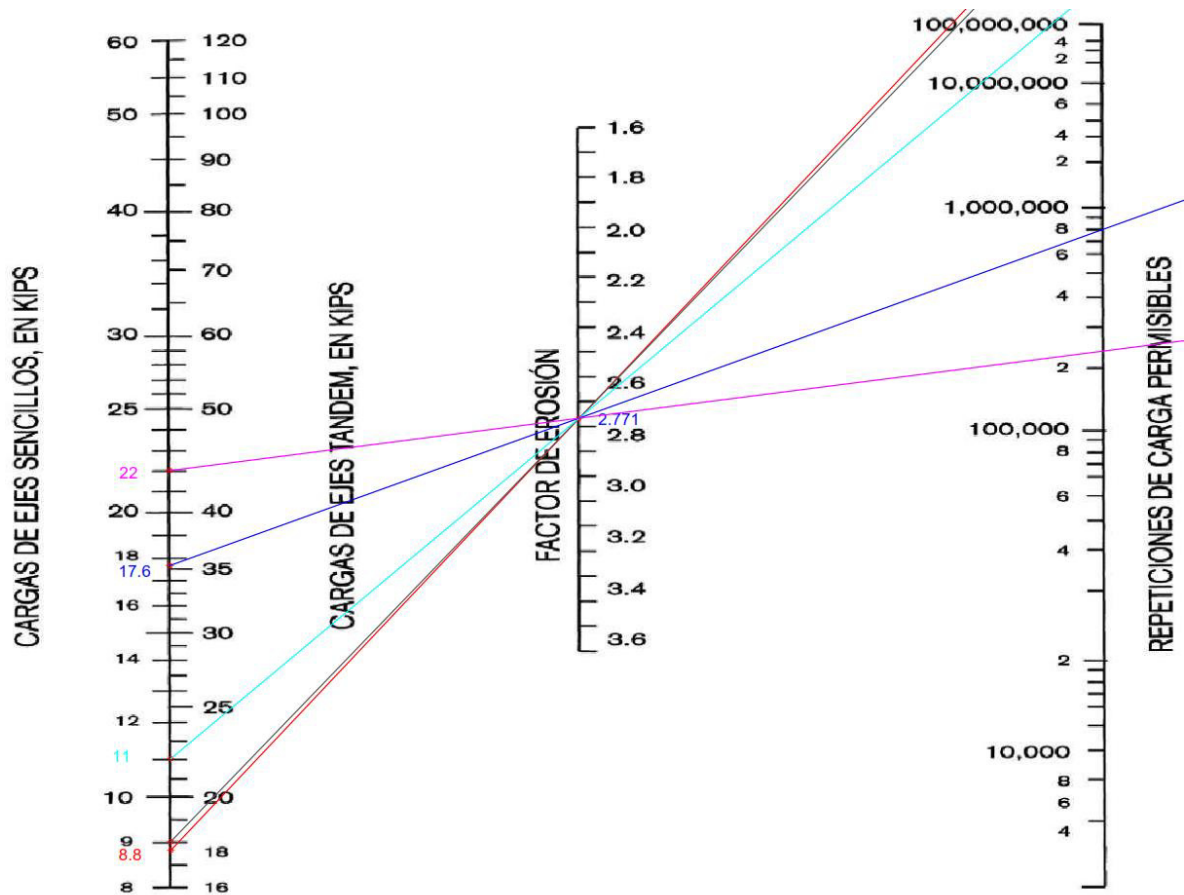


Fuente CEMEX.

El Análisis por Fatiga consiste en trazar una línea recta que una las Cargas de Ejes (sencillos o dobles) con el Factor de Relación de Esfuerzo la cual a su vez se proyecta hacia el Eje de Repeticiones Permisibles. En este caso los datos de Cargas de Eje como de Factor de Relación que se correlacionan no llegan a tocar el Eje de Repeticiones Permisibles por lo que el valor es ilimitado y el % de Fatiga es cero. En caso de que toque el eje de Repeticiones Permissible, se anotará el valor que indica la gráfica y se calcula el % de Fatiga dividiendo las Repeticiones Esperadas entre las Repeticiones Permisibles por 100.

4.5. Análisis por Erosión Con Apoyo Lateral.

Grafica No. 7 Análisis de Erosión. (Repeticiones permisibles basadas en el Factor de Erosión Con Apoyo Lateral).



Fuente CEMEX.

El Análisis por Erosión se realiza al trazar una línea recta que una las Cargas de Ejes (sencillos o dobles) con el Factor de Erosión la cual a su vez se prolonga hacia el Eje de Repeticiones Permisibles. En este caso los datos de Cargas de Eje como de Factor de Erosión que se correlacionan no llegan a tocar el Eje de Repeticiones Permisibles por lo que el valor es ilimitado y el % de Daño es cero. En caso de que toque el eje de Repeticiones Permisibles, se anotará el valor que indica la gráfica y se calcula el % de Daño dividiendo las Repeticiones Esperadas entre las Repeticiones Permisibles por 100.

4.6. Cálculo de Espesor del pavimento para un espesor de 6.50 pulgadas.

Tabla No. 38: Iteración para un espesor de prueba de 6.50 pulgadas.

Proyecto: Estructura de Pavimento Hidráulico de 2500m de calles en el casco urbano de Siuna						
Espesor Inicial (in)			6.5	Pasajuntas		No
Módulo de Reacción k, de la Subrasante (pci)			429.42	Apoyo Lateral		Si
Módulo de Ruptura, MR (Psi)			670.82	Periodo de Diseño		20 años
f'c (Psi)			4500			
Factor de Seguridad de Carga			1			
Carga del Eje (kips)	Multiplicada por FSL	Repeticiones Esperadas	Análisis por Fatiga		Análisis por Erosión	
			Repeticiones Permisibles	% de Fatiga	Repeticiones Permisibles	% de Daño
1	2	3	4	5	6	7
Ejes Sencillos						
22	22	159,870.00	ilimitado	0.00	240,000.00	66.61
17.6	17.6	47,961.00	ilimitado	0.00	800,000.00	6.00
11	11	159,870.00	ilimitado	0.00	ilimitado	0.00
9	9	538,229.00	ilimitado	0.00	ilimitado	0.00
8.8	8.8	47,961.00	ilimitado	0.00	ilimitado	0.00
8. Esfuerzo Equivalente	230.058	10. Factor Erosión	2.771	0.00		72.61
9. Factor de Relación de Esfuerzo			0.340			
RESULTADOS DEL ANALISIS			TOTAL	0.00	TOTAL	72.61

Fuente Elaboración Propia.

La iteración correspondiente a un espesor de 6.50 pulgadas, nos cumple en los criterio de Diseño para el Análisis por Fatiga es igual a 0% ya que la sumatoria del porcentaje de daños es menor que el 100% ($\sum \% \text{daños} < 100\%$) y el Análisis por Erosión es igual a 72.61 cumple debido a que la sumatoria del porcentaje de daños es menor que el 100% ($\sum \% \text{daños} < 100\%$). Por tanto se realizarán los cálculos con otra iteración utilizando un espesor mayor con un incremento de 0.50 in puesto que el Análisis por Erosión es cercano al 100%.

2da. prueba para calcular el Espesor de Losa de 7in.

4.7. Esfuerzo Equivalente.

El valor de **K** se toma del cálculo del Módulo de Reacción de la Subrasante (**k**) de diseño y según el nuevo espesor asumido de 7 pulgadas se calcularán los esfuerzos equivalentes y el factor de erosión para sus debidos análisis. Por lo tanto, el valor para los ejes sencillos y dobles se encontrará tomando en cuenta que la losa será sin pasajuntas y con apoyo lateral.

4.7.1. Cálculo de Esfuerzo equivalente para pavimentos con apoyo lateral.

Para realizar los cálculos del Esfuerzo equivalente se utilizaron los datos de la Tabla No. 25 tomando en cuenta que la losa es con apoyo lateral y tiene un espesor de prueba de 7 pulg. Debido a que el valor **k** de la subrasante se encuentra entre los valores 300 y 500 pci, se realiza una regla de tres compuesta cuyo procedimiento nos arroja el valor del Esfuerzo Equivalente del Eje Sencillo y del Eje Doble.

Tabla No. 39: Esfuerzo Equivalente - Con Apoyo Lateral

(Ver tabla completa en Anexo No. 9).

Eje Sencillo / Eje Tandem / Eje Tridem

Espesor de Losa, (pulgadas)	k de la subrasante, pci					
	300			500		
	Sen	Tan	Tri	Sen	Tan	Tri
7.0	220	184	149	203	170	142

Fuente CEMEX.

Ejes sencillos espesor de prueba 7in			
Modulo K	300	429.424	500
Esfuerzo equivalente	220	X1= 208.99900	203

$$\begin{array}{rcl}
 500-300= & 200 & \\
 203-220= & -17 & \\
 203-X1= & (70.576 * -17)/200= & -5.99896 \\
 X1= & 203+7.5998 &
 \end{array}$$

Los cálculos realizados nos reflejan que el Esfuerzo Equivalente del Eje Sencillo corresponde a X1= 208.999 pci.

4.7.2. Relación de Esfuerzos

La relación de esfuerzos se calcula dividiendo el esfuerzo equivalente entre el módulo de ruptura.

Ecuación N° 4

$$R. E. = \frac{E. E.}{M. R.}$$

Donde:

R.E.: Relación de Esfuerzo

E.E.: Esfuerzo Equivalente

M.R.: Módulo de Rotura

Por lo tanto la relación de esfuerzos para Ejes Sencillos es de:

$$R. E. \text{ (para Ejes Sencillos)} = \frac{208.999}{670.82}$$

$$R. E. \text{ (para Ejes Sencillos)} = \mathbf{0.311}$$

4.7.3. Cálculo de Factores de Erosión, para pavimentos Sin Pasajuntas y Con Apoyo Lateral

Para realizar los cálculos del Factor de Erosión se utilizaron los datos de la Tabla No. 26 tomando en cuenta que la losa es Sin Pasajuntas y con apoyo lateral y tiene un espesor de prueba de 7 pulg. Debido a que el valor **k** de la subrasante se encuentra entre los valores 300 y 500 pci, se realiza una regla de tres compuesta cuyo procedimiento nos arroja el Factor de Erosión por tipo de eje (sencillo y doble).

Tabla No. 40: Factores de Erosión - Sin Pasajuntas - Con Apoyo Lateral
(Ver tabla completa en Anexo No. 15).

Eje Sencillo / Eje Tandem / Eje Tridem

Espesor de Losa, (pulgadas)	k de la subrasante, pci					
	300			500		
	Sen	Tan	Tri	Sen	Tan	Tri
7	2.70	2.72	2.73	2.68	2.66	2.65

Fuente CEMEX.

Ejes sencillos espesor de prueba 7in			
Modulo K	300	429.424	500
Factor erosion	2.7	Y1= 2.68700	2.68

$$\begin{array}{rcl}
 500-300= & 200 & \\
 2.68-2.7= & -0.02 &
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{rcl}
 500-429.424= & 70.576 & \\
 2.68-Y1 & &
 \end{array}$$

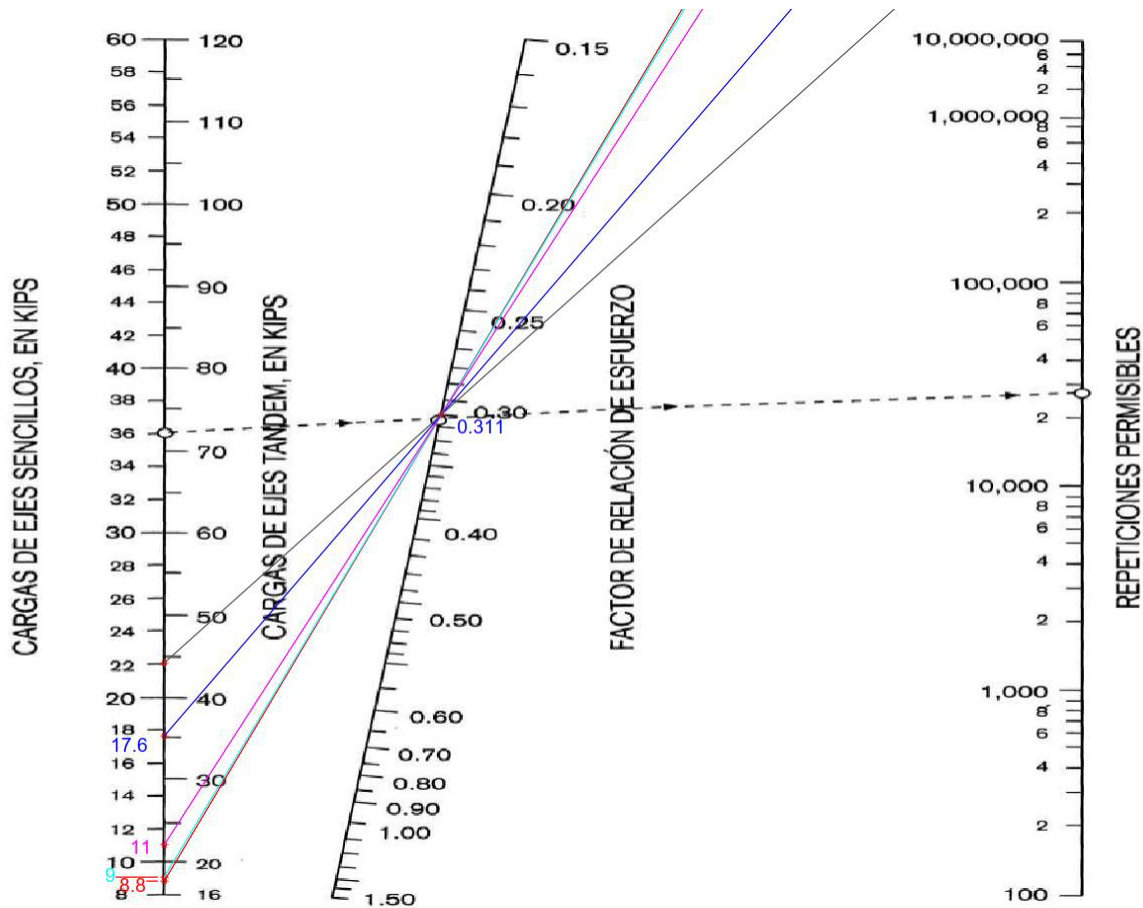
$$2.68-Y1 = (70.576 * -0.02)/200 = -0.00706$$

$$Y1 = 2.68 + 0.00706$$

El resultado del Factor de Erosión del Eje Sencillo es igual a 2.687

Análisis por Fatiga Con o Sin Apoyo Lateral.

Grafica No. 8 Análisis de Fatiga (Repeticiones permisibles basadas en el factor de Relacion de Esfuerzo, Con o Sin Apoyo Lateral).

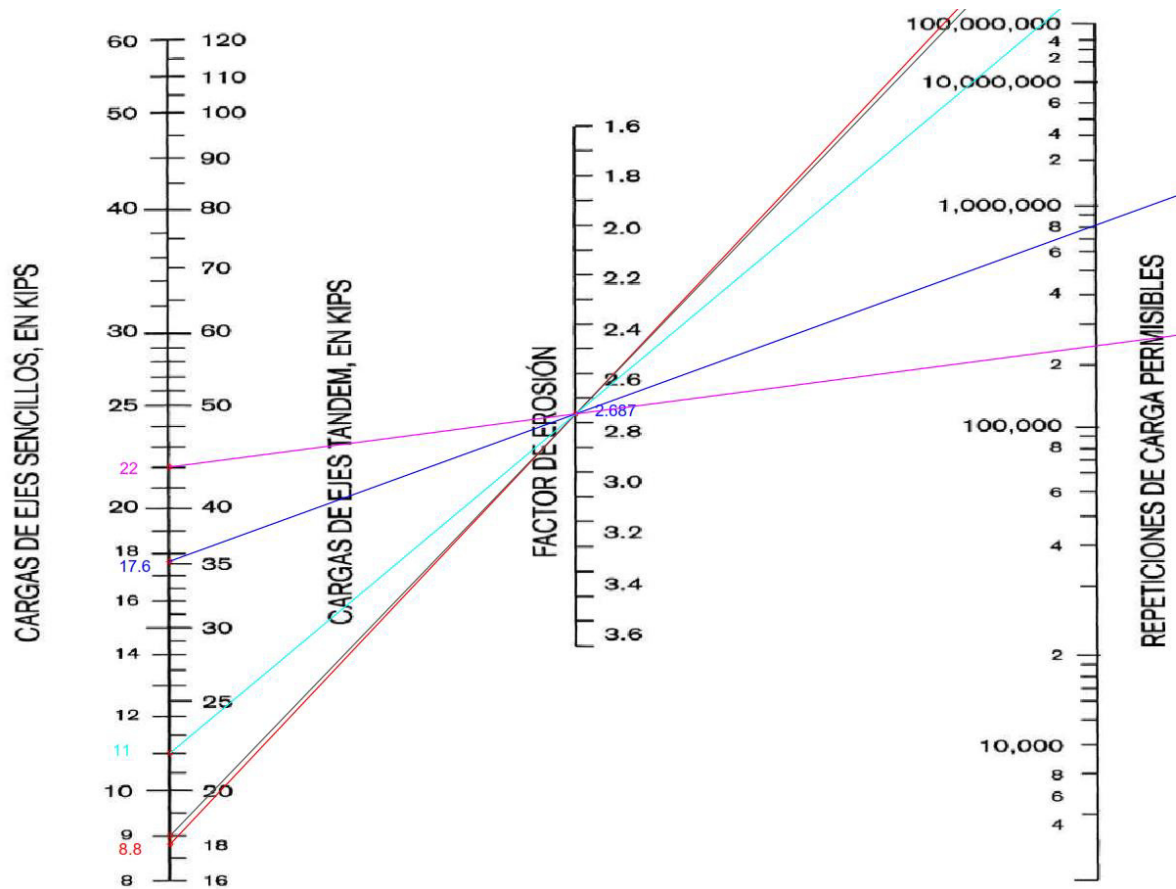


Fuente CEMEX.

El Análisis por Fatiga consiste en trazar una línea recta que una las Cargas de Ejes (sencillos o dobles) con el Factor de Relación de Esfuerzo la cual a su vez se proyecta hacia el Eje de Repeticiones Permisibles. En este caso los datos de Cargas de Eje como de Factor de Relación que se correlacionan no llegan a tocar el Eje de Repeticiones Permisibles por lo que el valor es ilimitado y el % de Fatiga es cero. En caso de que toque el eje de Repeticiones Permissible, se anotará el valor que indica la gráfica y se calcula el % de Fatiga dividiendo las Repeticiones Esperadas entre las Repeticiones Permisibles por 100.

4.8. Análisis por Erosión Con Apoyo Lateral.

Grafica No. 9 Análisis de Erosión. (Repeticiones permisibles basadas en el Factor de Erosión Con Apoyo Lateral).



Fuente CEMEX.

El Análisis por Erosión se realiza al trazar una línea recta que una las Cargas de Ejes (sencillos o dobles) con el Factor de Erosión la cual a su vez se prolonga hacia el Eje de Repeticiones Permisibles. En este caso los datos de Cargas de Eje como de Factor de Erosión que se correlacionan no llegan a tocar el Eje de Repeticiones Permisibles por lo que el valor es ilimitado y el % de Daño es cero. En caso de que toque el eje de Repeticiones Permisible, se anotará el valor que indica la gráfica y se calcula el % de Daño dividiendo las Repeticiones Esperadas entre las Repeticiones Permisibles por 100.

Calculo de Espesor del pavimento para un espesor de 7 pulgadas.

Tabla No. 41: Iteración para un espesor de prueba de 7 pulgadas.

Proyecto: Estructura de Pavimento Hidráulico de 2500m de calles en el casco urbano de Siuna						
Espesor Inicial (in)		7		Pasajuntas		No
Modulo de Reacción k, de la Subrasante (Pci)		429.42		Apoyo Lateral		No
Módulo de Ruptura, MR (Psi)		670.82		Periodo de Diseño		20 años
f'c (Psi)		4500				
Factor de Seguridad de Carga		1				
Carga del Eje (kips)	Multiplicada por FSL	Repeticiones Esperadas	Análisis por Fatiga		Análisis por Erosión	
			Repeticiones Permisibles	% de Fatiga	Repeticiones Permisibles	% de Daño
1	2	3	4	5	6	7
Ejes Sencillos						
22	22	159,870.00	ilimitado	0.00	820,000.00	19.50
17.6	17.6	47,961.00	ilimitado	0.00	245,000.00	19.58
11	11	159,870.00	ilimitado	0.00	ilimitado	0.00
9	9	538,229.00	ilimitado	0.00	ilimitado	0.00
8.8	8.8	47,961.00	ilimitado	0.00	ilimitado	0.00
8. Esfuerzo Equivalente	208.999	10. Factor Erosión	2.687	0.00		39.07
9. Factor de Relación Esfuerzo			0.310			
RESULTADOS DEL ANALISIS			TOTAL	0.00	TOTAL	39.07

Fuente Elaboración Propia.

La iteración correspondiente a un espesor de 7 pulgadas, nos cumple los criterios de Diseño para el Análisis por Fatiga dado que es igual a 0% y la sumatoria del porcentaje de fatiga es menor que el 100% ($\sum \% \text{ fatiga} < 100\%$). El Análisis por Erosión es igual a 39.07% y cumple debido a que la sumatoria del porcentaje de daños es menor que el 100% ($\sum \% \text{ daños} < 100\%$). Por tanto, el espesor de 7in será utilizado como el espesor de pavimento de concreto. Sin embargo, se debe probar con otra iteración y con un espesor de 7.50in para observar su comportamiento.

3era prueba para calcular el Espesor de losa de 7.50in.

4.9. Esfuerzo equivalente

El valor de **K** se toma del cálculo del Módulo de Reacción de la Subrasante (**k**) de diseño y según el nuevo espesor asumido de 7.50 pulgadas se calcularán los esfuerzos equivalentes y el factor de erosión para sus debidos análisis. Por lo tanto, el valor para los ejes sencillos y dobles se encontrará tomando en cuenta que la losa será sin pasajuntas y con apoyo lateral.

4.9.1. Cálculo de Esfuerzo equivalente para pavimentos con apoyo lateral

Para realizar los cálculos del Esfuerzo equivalente se utilizaron los datos de la Tabla No. 28 tomando en cuenta que la losa es con apoyo lateral y tiene un espesor de prueba de 7.50 pulg. Debido a que el valor **k** de la subrasante se encuentra entre los valores 300 y 500 pci, se realiza una regla de tres compuesta cuyo procedimiento nos arroja el valor del Esfuerzo Equivalente del Eje Sencillo y del Eje Doble.

Tabla No. 42: Esfuerzo Equivalente - Con Apoyo Lateral
(Ver tabla completa en Anexo No. 9).

Eje Sencillo / Eje Tandem / Eje Tridem

Espesor de Losa, (pulgadas)	k de la subrasante, pci					
	300			500		
	Sen	Tan	Tri	Sen	Tan	Tri
7.5	201	168	135	185	155	127

Fuente CEMEX.

Ejes sencillos espesor de prueba 7.5in			
Modulo K	300	429.424	500
Esfuerzo equivalente	201	X1= 190.64600	185

$$\begin{array}{rcl}
 500-300= & 200 & \\
 185-201= & -16 &
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{rcl}
 500-429.424= & 70.576 & \\
 185-X1 & &
 \end{array}$$

$$185-X1 = (70.576 * -16)/200 = -5.64608$$

$$X1 = 185 + 5.646$$

Los cálculos realizados nos reflejan que el Esfuerzo Equivalente del Eje Sencillo corresponde a $X1 = 190.646$ pci.

4.9.2. Relación de Esfuerzos

La relación de esfuerzos se calcula dividiendo el esfuerzo equivalente entre el módulo de ruptura.

Ecuación N° 4

$$R. E. = \frac{E. E.}{M. R.}$$

Donde:

R.E.: Relación de Esfuerzo

E.E.: Esfuerzo Equivalente

M.R.: Módulo de Rotura

Por lo tanto la relación de esfuerzos para Ejes Sencillos es de:

$$R. E. \text{ (para Ejes Sencillos)} = \frac{190.646}{670.82}$$

$$R. E. \text{ (para Ejes Sencillos)} = \mathbf{0.284}$$

4.9.3. Calculo de Factores de Erosión, para pavimentos Sin Pasajuntas y Con Apoyo Lateral

Para realizar los cálculos del Factor de Erosión se utilizaron los datos de la Tabla No. 29 tomando en cuenta que la losa es Sin Pasajuntas y con apoyo lateral y tiene un espesor de prueba de 7.50 pulg. Debido a que el valor **k** de la subrasante se encuentra entre los valores 300 y 500 pci, se realiza una regla de tres compuesta cuyo procedimiento nos arroja el Factor de Erosión por tipo de eje (sencillo y doble).

Tabla No. 43: Factores de Erosión - Sin Pasajuntas - Con Apoyo Lateral
(ver tabla completa en Anexo No.15).

Eje Sencillo / Eje Tandem / Eje Tridem

Espesor de Losa, (pulgadas)	k de la subrasante, pci					
	300			500		
	Sen	Tan	Tri	Sen	Tan	Tri
7.5	2.62	2.66	2.67	2.60	2.59	2.59

Fuente CEMEX.

Ejes sencillos espesor de prueba 7.5in			
Modulo K	300	429.424	500
Factor erosion	2.62	Y1= 2.60700	2.6

$$\begin{array}{rcl}
 500-300= & 200 & \\
 2.6-2.62= & -0.02 &
 \end{array}
 \begin{array}{rcl}
 500-429.424 & 70.576 & \\
 2.6-Y1 & &
 \end{array}$$

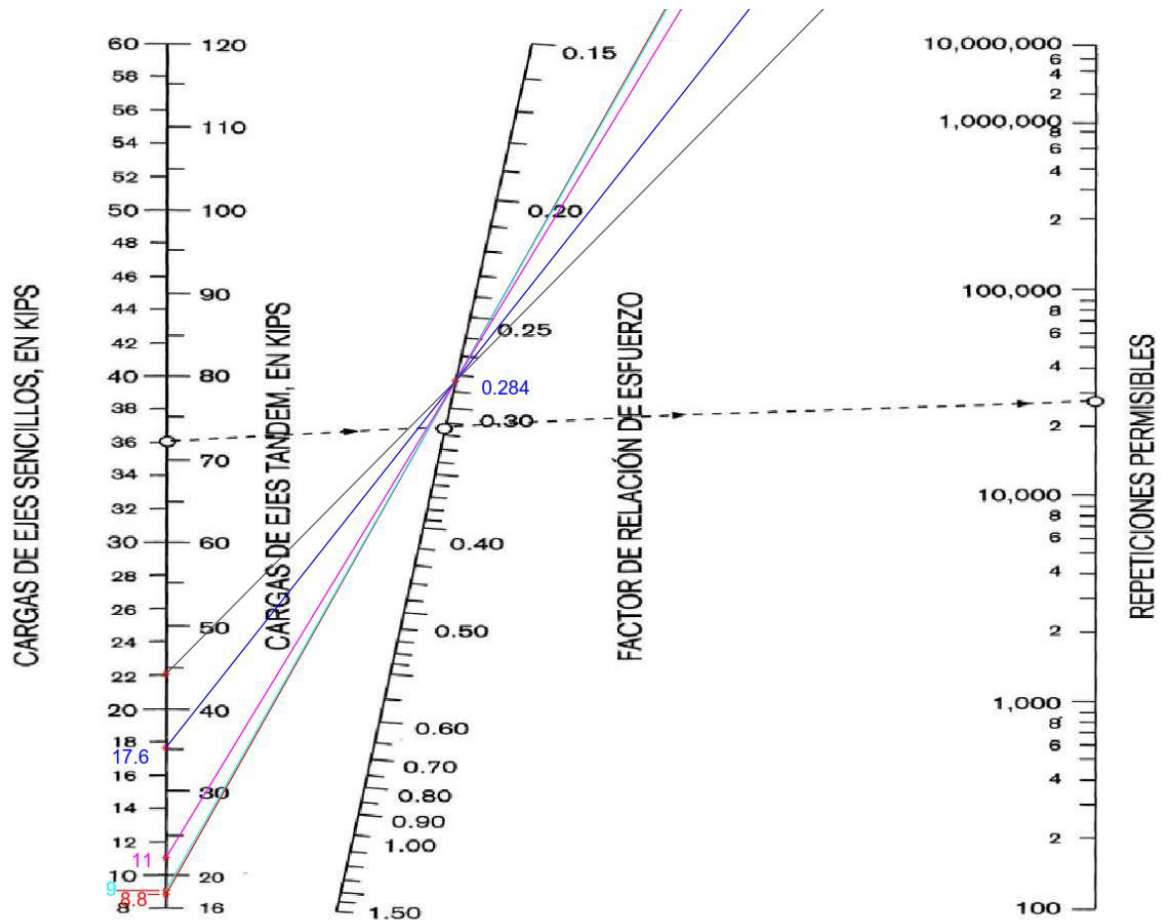
$$2.60-Y1= (70.576 * -0.02)/200= -0.00706$$

$$Y1= 2.60+0.0070$$

El resultado del Factor de Erosión del Eje Sencillo es igual a 2.607

4.10. Análisis por Fatiga Con o Sin Apoyo Lateral

Grafica No. 10 Análisis de Fatiga (Repeticiones permisibles basadas en el factor de Relacion de Esfuerzo, Con o Sin Apoyo Lateral).

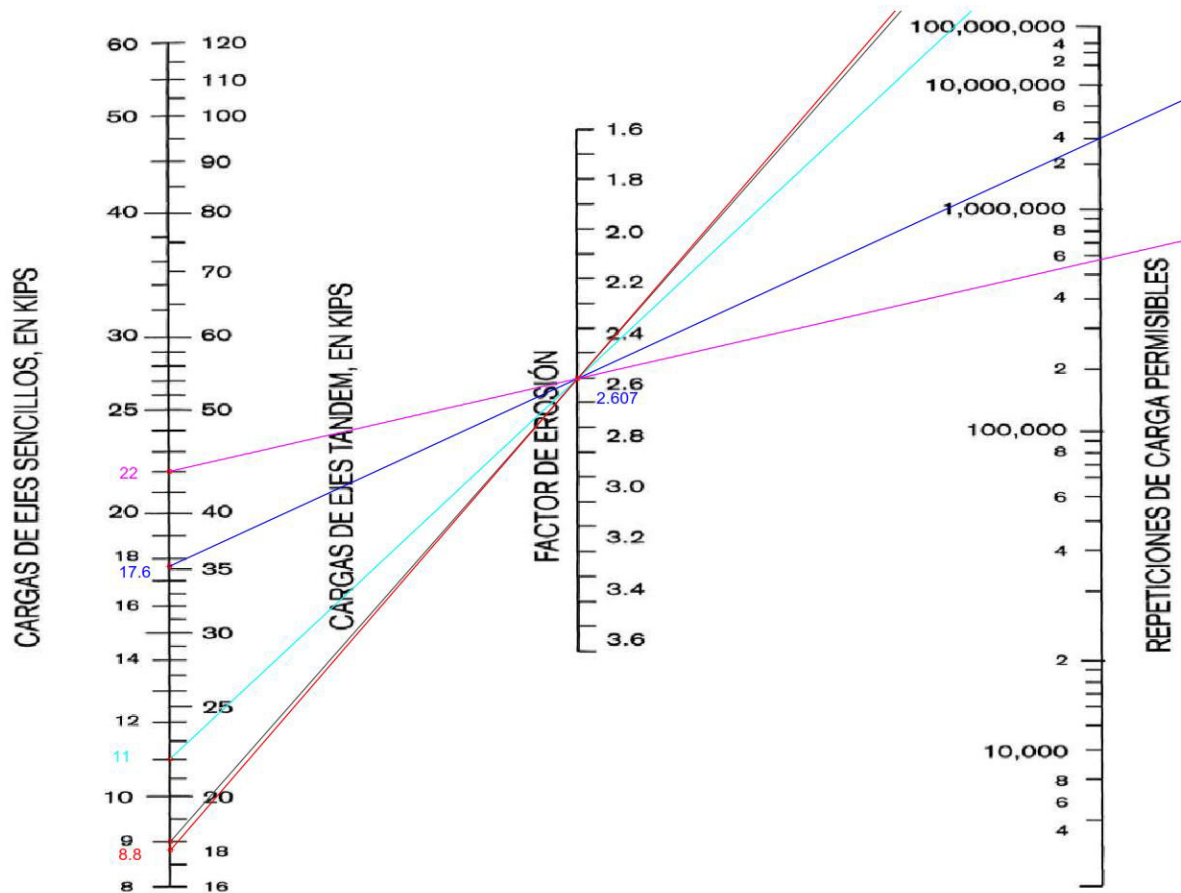


Fuente CEMEX.

El Análisis por Fatiga consiste en trazar una línea recta que una las Cargas de Ejes (sencillos o dobles) con el Factor de Relación de Esfuerzo la cual a su vez se proyecta hacia el Eje de Repeticiones Permisibles. En este caso los datos de Cargas de Eje como de Factor de Relación que se correlacionan no llegan a tocar el Eje de Repeticiones Permisibles por lo que el valor es ilimitado y el % de Fatiga es cero. En caso de que toque el eje de Repeticiones Permissible, se anotará el valor que indica la gráfica y se calcula el % de Fatiga dividiendo las Repeticiones Esperadas entre las Repeticiones Permisibles por 100.

4.11. Análisis por Erosión Con Apoyo Lateral

Grafica No. 11 Análisis de Erosión. (Repeticiones permisibles basadas en el Factor de Erosión Con Apoyo Lateral).



Fuente CEMEX.

El Análisis por Erosión se realiza al trazar una línea recta que una las Cargas de Ejes (sencillos o dobles) con el Factor de Erosión la cual a su vez se prolonga hacia el Eje de Repeticiones Permisibles. En este caso los datos de Cargas de Eje como de Factor de Erosión que se correlacionan no llegan a tocar el Eje de Repeticiones Permisibles por lo que el valor es ilimitado y el % de Daño es cero. En caso de que toque el eje de Repeticiones Permisible, se anotará el valor que indica la gráfica y se calcula el % de Daño dividiendo las Repeticiones Esperadas entre las Repeticiones Permisibles por 100.

4.12. Cálculo de espesor del pavimento para un espesor de 7.50 pulgadas.

Tabla No. 44: Iteración para un espesor de prueba de 7.50 pulgadas.

Proyecto: Estructura de Pavimento Hidraulico de 2500m de calles en el casco urbano de Siuna						
Espesor Inicial (in)			7.5	Pasajuntas		No
Modulo de Reaccion k, de la Subrasante (pci)			429.42	Apoyo lateral		No
Modulo de Ruptura, MR (Psi)			670.82	Periodo de Diseño		20 años
f'c (Psi)			4500			
Factor de Seguridad de Carga			1			
Carga del Eje (kips)	Multiplicada por FSL	Repeticiones Esperadas	Análisis por Fatiga		Análisis por Erosión	
			Repeticiones Permisibles	% de Fatiga	Repeticiones Permisibles	% de Daño
1	2	3	4	5	6	7
Ejes Sencillos						
22	22	159,870.00	ilimitado	0.00	4,000,000.00	4.00
17.6	17.6	47,961.00	ilimitado	0.00	580,000.00	8.27
11	11	159,870.00	ilimitado	0.00	ilimitado	0.00
9	9	538,229.00	ilimitado	0.00	ilimitado	0.00
8.8	8.8	47,961.00	ilimitado	0.00	ilimitado	0.00
8. Esfuerzo Equivalente	190.646	10. Factor Erosion	2.607	0.00		12.27
9. Factor de Relacion Esfuerzo			0.284			
RESULTADOS DEL ANALISIS			TOTAL	0.00	TOTAL	12.27

Fuente Elaboración Propia.

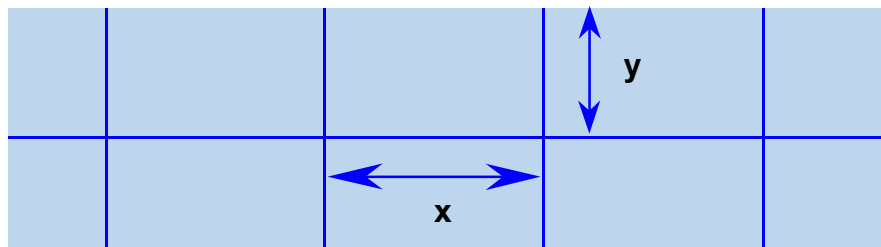
La iteración correspondiente a un espesor de 7.50in, nos cumple los criterios de Diseño para el Análisis por Fatiga es igual a 0% ya que la sumatoria del porcentaje de fatiga es menor que el 100% ($\sum \% \text{ fatiga} < 100\%$) y el Análisis por Erosión es igual a 12.27% cumple debido a que la sumatoria del porcentaje de daños es menor que el 100% ($\sum \% \text{ daños} < 100\%$). Por tanto el espesor de 7.50 pulgadas se puede utilizar como el espesor de pavimento de concreto sin embargo el espesor de 7in cumple los criterios de diseño y es más económico debido a esto se utilizará el espesor de 7in.

4.13. Modulaci3n de losa.

4.13.1. Modulaci3n de las Losas.

Se refiere a la forma que tendr3n los tableros de la losa. Aqu3 se modula la junta longitudinal y la transversal de tal manera que exista una relaci3n, entre el largo y el ancho que no exceda a los l3mites 0.71 a 1.40, esto es $0.71 < x / y < 1.4$

Gr3ficamente:



Relaci3n Largo – Ancho de losa.

La modulaci3n de las losas est3 regida por la separaci3n de las juntas transversales, que a su vez dependen del espesor de la losa. El objetivo es inducir el agrietamiento controlado bajo los cortes de las losas (Secci3n rebajada), sin necesidad de colocar refuerzo continuo.

La modulaci3n de losas va a estar regida por la separaci3n de las juntas transversales que a su vez depende del espesor del pavimento.

Existe una regla pr3ctica que nos permite dimensionar los tableros de losas para inducir el agrietamiento controlado bajo los cortes de losas, sin necesidad de colocar acero de refuerzo continuo:

$S_{jt} = (21 \text{ a } 24)D$, nunca mayor de 5.5 metros

D3nde:

El valor de 21 corresponde a sub-bases (en contacto con la losa) estabilizadas.

El valor de 24 corresponde a sub-bases (en contacto con la losa) Triturada.

S_t = Separación de Juntas Transversales (≤ 5.0 m)

D = Espesor de la losa de pavimento

Para el proyecto la base es estabilizada, por tanto se usa 21, el espesor de la losa es de 7 pulgadas aproximadamente 17.78cm

Entonces; $S_{jt} = 21 * 17.78 \text{ cm} = 373.38 \text{ cm}$, máxima separación de la junta transversal que corresponde a X para efecto de diseño usaremos 3.00m.

Como la junta longitudinal lo que hace es partir en dos tramos iguales la losa de concreto y el ancho de calzada varia siendo el máximo de 5.50 metros para la calle El Cementerio y 4.50 metros para la calle Luis Alfonso entre la cara de los bordes, la mitad es 2.75 m y 2.25m respectivamente. Esta es la dimensión **Y** máxima. La dimensión X es la separación entre las juntas transversales. **X ÷ Y** debe de estar comprendida en los valores 0.71 y 1.40.

VALORES MAXIMOS

Calle El Cementerio

X = 3.00 metros

Y = 2.75 metros

Calle Luis Alfonso

X= 3.00 metros

Y= 2.25 metros

La Relación x/y en la calle El cementerio es $3.00/2.75$, resultando 1.09, valor que se encuentra entre los límites, por tanto la modulación cumple.

La Relación x/y en la Calle Luis Alfonso es $3.00/2.25$, resultando 1.33, valor que se encuentra entre los límites, por tanto la modulación cumple.

4.13.2. OPTIMIZACION DE LA RELACION X/Y

Consiste en analizar el valor de X y Y para lograr que el tren de cargas de todos los ejes del vehículo que causa mayor daño a la losa individualmente pase en una sola.

Para el caso es el tipo C2 que si dividimos aún más el carril, para el caso se propone dividir el carril en dos partes iguales, de 1.50 m por 1.375 m, lo que nos da la relación siguiente:

- a) $1.50/1.375$, obtenemos 1.09, valor que se encuentra entre los límites de 0.71 y 1.40, por tanto la modulación de la parte interna cumple con el parámetro.

Adicionando, la construcción de las cunetas ayuda a proteger a las losas del efecto de orilla o borde (confinamiento lateral).

4.13.3. PROFUNDIDAD DE LA RANURA DE LA JUNTAS.

Aserrado de Juntas. Deben emplearse sierras para concreto con la potencia suficiente para cortar el espesor total de la losa. Las sierras deben estar equipadas con guías y dispositivos que aseguren la alineación y profundidad de corte requeridos. El aserrado de juntas se ejecutará con el sistema SoftCut con sierras de 2 mm de ancho a una profundidad de $1/3$ del espesor de las losas en las juntas longitudinales y $1/4$ del espesor de la losa en las juntas transversales. El corte se deberá mantener a la profundidad especificada en toda la longitud o ancho de las losas. El espaciamiento de las juntas transversales será de 3.00 m mientras que las juntas longitudinales interiores se localizarán a una distancia de la línea central de 2.75 m correspondiente a la mitad del ancho de los carriles de rodadura.

4.13.4. TERMINACIÓN SUPERFICIAL.

La terminación deberá asegurar la menor rugosidad posible, y preferentemente lograr una rugosidad inicial (IRI) de 2.0 m/km de media y 2,8 m/km máxima. Para ello, se deberán utilizar las tecnologías y recursos adecuados que permitan asegurar que estas exigencias se cumplan. En el caso de construir los pavimentos de forma manual se sugiere la utilización de alisadores manuales de dimensión igual o mayor a 3 mts de ancho y mango largo para asegurar la mejor planicidad

(planeidad) posible de terminación del concreto. La terminación superficial del pavimento se deberá realizar sobre la superficie terminada y fresca con una esterilla mojada o rayada con escobillón que permita dejar una terminación suave sobre la superficie. Se sugiere que el sentido del rayado sea longitudinal.

4.13.5. CURADO.

Una vez terminados los trabajos de hormigonado, es decir realizado el rayado de la superficie del hormigón, este se deberá curar en dos etapas:

1. *Colocar Retardador de fraguado:* este producto se debe colocar una vez realizada la terminación superficial del concreto, con el hormigón fresco. Este producto evitará las primeras fisuras por retracción plástica y disminuirá el alabeo de construcción por secado de la superficie.

2. *Colocar membrana de curado Tradicional:* Una vez realizados los cortes al pavimento, es decir una vez endurecido éste, se aplicará la membrana de curado tradicional protegiendo el hormigón de la evaporación de la superficie con efectos similares descritos en el punto anterior.

En caso de que la temperatura en la noche sufra descensos importantes (mayor a 10°C) se recomienda complementar este curado mediante la colocación de una aislación térmica superficial como geotextil grueso o polietileno con burbujas (las burbujas tocando la superficie del pavimento), materiales que deberán cubrir el concreto por lo menos la primera noche, colocado 1 hora después de realizada la última etapa de curado. Este aislamiento permite disminuir el alabeo inicial de las losas, además de acelerar la apertura al tráfico.

4.13.6. CORTE DE JUNTAS

Se deberá cortar las juntas de contracción longitudinal y transversal en el pavimento a partir del momento en que se pueda colocar una máquina de corte sobre la

superficie de rodado sin dejar marcadas las huellas (aproximadamente 6 horas). El contratista deberá considerar el endurecimiento del concreto y la temperatura ambiente para definir el momento cuando se debe efectuar el corte de juntas, el cual deberá realizarse lo antes posible para evitar fisuras por retraso de corte y disminuir tensiones de alabeo en las losas.

Para la formación de las juntas de inducción de grietas, deberán efectuarse dos cortes; el primero será de 3mm y tendrá una profundidad de 50.00mm (un tercio del espesor de losa). El segundo corte será de 6mm de ancho y tendrá una profundidad de 37.5mm.

4.13.7. SELLO DE JUNTAS.

En el diseño de los tramos de calle en estudio no se considera el sello de juntas debido a que el corte de 2 mm evita el ingreso de partículas incompresibles.

4.13.8. APERTURA AL TRÁFICO.

El pavimento se podrá abrir al tráfico cuando tenga una resistencia a flexo tracción de 2,5 MPa (25 Kg/cm²). La verificación de la resistencia para apertura al tráfico se puede realizar por medio de la relación madurez del concreto y resistencia.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Luego del análisis de laboratorio de materiales y suelos de este tramo calle el cementerio, se comprobó y verificó que los tipos de suelo predominantes hasta una profundidad de 1.50 metros corresponde al tipo de suelo A-2-4 y A-2-6. Después del análisis de laboratorio de materiales y suelos de este tramo de calle Luis Alfonso, se comprobó y verificó que los tipos de suelo predominantes hasta una profundidad de 1.50 metros corresponde al tipo de suelo A-2-4 y A-7-6.
- En la calle El Cementerio y en la calle Luis Alfonso el rodamiento actual deberá ser reciclado, **hasta alcanzar un espesor total mínimo de 15.0 cm** y debe ser estabilizada con la adición de cemento, en una cantidad tal que la mezcla **estabilizada alcance una resistencia mínima a la compresión simple, después de 7 días de curado, de 21 kg/cm².**
- El TPDA para el año 2016 es de 293 vehículos por día. En ambos tramos se utilizó una tasa de crecimiento vehicular de 6.52% con lo cual en el horizonte de proyecto el tránsito promedio diario anual (TPDA) será 618 vpd.
- El espesor de pavimento de concreto para los tramos será de 7 pulgadas de acuerdo a los análisis de fatiga y daño por erosión, de 0% y 39.07% respectivamente y con un bombeo del 3% cumpliendo con los criterios de diseño.
- La dimensión del tablero será de 3.00 metros entre juntas transversales, y 2.75 metros entre longitudinales para la calle El cementerio y 3.00 entre juntas transversales y 2.25 metros entre longitudinales para la calle Luis Alfonso.

Recomendaciones

- Para efectos de ampliar la vida útil de los tramos de las calles en estudios se debe limpiar, escarificar y re-nivelar la superficie afectada por la circulación del tránsito y la erosión provocada por los efectos climáticos.
- Se recomienda un ancho de 2.75m máximo de carril por sentido, para facilitar la circulación de los vehículos de mayor tamaño. A esto, agregar cunetas a ambos lados de la vía.
- Se recomienda colocar la losa directamente sobre la subrasante compactada al 95% de Proctor estándar para obtener los valores de soporte del suelo utilizados en el diseño a fin de obtener mayor estabilidad de suelo y mejor distribución de cargas en ellas.
- Humedecer la superficie que recibirá la mezcla, con el fin de evitar que el suelo absorba agua del concreto.
- Los cortes de las Juntas deberán iniciarse a las 4 o 6 horas de haber colocado el concreto y deberá terminarse antes de 12 horas después del colocado.
- Se recomienda sellar las Juntas Transversales después de 7 días de aserradas. El material de sello debe quedar unos 6mm por debajo de la superficie del pavimento, para asegurar su adherencia al concreto e impedir que sea despegado por el tránsito de vehículos.
- En la etapa de acabado la superficie debe presentar la rugosidad necesaria para garantizar un adecuado adherimiento entre los neumáticos y la losa en cualquier período del año.

Bibliografía

Científica:

- PCA, 1984. “ (Hormigón, 1984)”. Portland Cement Association 1984.
- AASHTO, 1993. “AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993” American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993.
- Manual de Diseño y Construcción de Pavimento de la CEMEX.
- SIECA, 2001. Manual Centroamericano para Diseño de Pavimento (SIECA). Segunda Edición 2001.
- J. Coronado, 2002. Manual Centroamericano para el Diseño de Pavimentos. Noviembre 2, 2002.
- Manual de Pavimentos de Concreto CEMEX.

Documentos:

- UNI, 2011. Documentación de Curso de Especialización de Obras Horizontales, UNI Año 2010-2011.
- <http://www.inifom.gob.ni/municipios> (Fichas Municipales)
- Siuna en cifras, Instituto nacional de información de desarrollo, Marzo de 2008.
- Alcaldía de Siuna. Documentos de Proyecto Pavimentación con Concreto Hidráulico de 1,300 MI de Calle en el Casco Urbano, Calle El Cementerio y

Pavimentación con Concreto Hidráulico de 1,200 MI de Calle en el Casco Urbano, Calle Luis Alfonso”.

- Anuario de Aforos de Tráfico año 2015. Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI).
- Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI). Dirección General de Vialidad.
- Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI). Diagrama de cargas permisibles aplicados en los puntos de control. Pesos máximos permisibles por tipo de vehículos.

Anexos

Anexo 1. Tramo Calle el Cementerio.

Inicio del tramo Est. 0+000



Calle el cementerio



Obra de drenaje

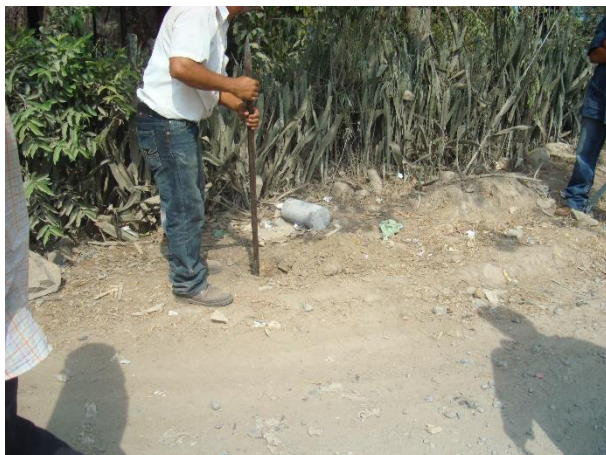


Calle El Cementerio



Fuente de fotos IDISA

Instalación de BM



Calle El Cementerio



Tramo Final Calle El Cementerio



Tramo Final Calle El Cementerio



Fuente de fotos IDISA

Anexo 2. Tramo Luis Alfonso.

Inicio del tramo Est. 0+000



Calle Luis Alfonso



Calle Luis Alfonso



Obra de drenaje



Fuente de fotos IDISA

Calle Luis Alfonso



Calle Luis Alfonso



Calle Luis Alfonso



Fin del tramo Calle Luis Alfonso





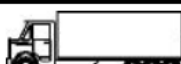








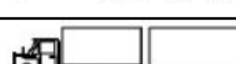
Fuente de fotos IDISA

Anexo 3. Tipología y descripción vehicular de conteos de tráfico del sistema de administración de pavimentos.

CLASIF. VEHICULAR	TIPOS DE VEHICULOS	ESQUEMA VEHICULAR	DESCRIPCIÓN DE LA TIPOLOGÍA VEHICULAR
VEHICULOS DE PASAJEROS	MOTOCICLETAS		Incluye todos los tipos de Motocicleta tales como: Minimoto, Cuatrociclos, Minin Taxis, Etc. Este último fue modificado para que pudiera ser adaptado para el traslado de personas, se encuentran más en zonas Departamentales y Zonas Urbanas. Moviliza a 3 personas incluyendo al conductor.
	AUTOMOVILES		Se consideran todos los tipos de automóviles de cuatro y dos puertas, entre los que podemos mencionar, vehículos coupe y station wagon.
	JEEP		Se consideran todos los tipos de vehículos conocidos como 4*4. En diferentes tipos de marcas, tales como TOYOTA, LAND ROVER, JEEP, ETC.
	CAMIONETA		Son todos aquellos tipos de vehículos con líneas en la parte trasera, incluyendo las que transportan pasajeros y aquellos que por su diseño están diseñados a trabajos de carga.
	MICROBUS		Se consideran todos aquellos microbuses, que su capacidad es menor o igual a 14 pasajeros sentados.
	MINIBUS		Son todos aquellos con una capacidad de 15 a 30 pasajeros sentados.
	BUS		Se consideran todos los tipos de buses, para el transporte de pasajeros con una capacidad mayor de 30 personas sentadas.
VEHICULOS DE CARGA	LIVIANO DE CARGA		Se consideran todos aquellos vehículos, cuyo peso máximo es de 4 toneladas o menores a ellas.
	CAMIÓN DE CARGA C2 - C3		Son todos aquellos camiones tipos C2 (2 Ejes) y C3 (3 Ejes), con un peso mayor de 5 toneladas. También se incluyen las furgonetas de carga liviana.
	CAMIÓN DE CARGA PESADA $Tk-Sk \leq 4$		Camiones de Carga Pesada, son vehículos diseñados para el transporte de mercancía liviana y pesada y son del tipo $Tk-Sk \leq 4$
	$Tk-Sk > 4$		Este tipo de camiones son considerados combinaciones Tractor Camión y semi - Remolque, que sea igual o mayor que 5 ejes.
	$Cx-Rx \leq 4$		Camión Combinado, son combinaciones camión remolque que sea menor o igual a 4 ejes y están clasificados como $Cx-Rx \leq 4$
	$Cx-Rx \geq 5$		Son combinaciones iguales que las anteriores pero iguales o mayores cantidades a 5 ejes
EQUIPO PESADO	VEHICULOS AGRICOLAS		Son vehículos provistos con llantas especiales de hule, de gran tamaño. Muchos de estos vehículos poseen arados u otros tipos de equipos, con los cuales realizar las actividades agrícolas. Existen de diferentes tipos (Tractores - Arados - Cosechadoras)
	VEHICULOS DE CONSTRUCCIÓN		Generalmente estos tipos de vehículos se utilizan en la construcción de obras civiles. Pueden ser de diferentes tipos, Motorizadores, retroexcavadoras, Recuperador de Caminos/Mezclador, Pavimentadora de Asfalto, Tractor de Cadenas, Cargador de Ruedas y Compactadora
OTROS	REMOLQUES Y/O TRAILERS		Se incluye remolques o trailers pequeños halados por cualquier clase de vehículo automotor, también se incluyen los halados por tracción animal (Semovientes).

Fuente: Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI). Anuario de Aforos de Tráfico año 2010.

Anexo 4. Diagrama de cargas permisibles aplicados en los puntos de control.
Pesos máximos permisibles por tipo de vehículos.

TIPO DE VEHICULOS	ESQUEMAS DE VEHICULOS	PESO MAXIMO AUTORIZADO						
		1er. Eje	2do. Eje	3er. Eje	4to. Eje	5to. Eje	6to. Eje	Peso Máximo Total (1) Ton - Met.
C2 11		4.50	9.00					13.50
C3 12		5.00	16.00					21.00
			8.00	8.00				
C4 Tx-Sx<4		5.00	20.00					25.00
			6.67	6.66	6.66			
T2-S1 Tx-Sx<4		5.00	9.00	9.00				23.00
T2-S2 Tx-Sx<4		5.00	9.00	16.00				30.00
				8.00	8.00			
T2-S3 Tx-Sx>5		5.00	9.00	20.00				34.00
				6.67	6.66	6.66		
T3-S1 Tx-Sx<4		5.00	16.00		9.00			30.00
			8.00	8.00				
T3-S2 Cx-Rx<4		5.00	16.00		16.00			37.00
			8.00	8.00	8.00	8.00		
T3-S3 Cx-Rx>5		5.00	16.00		20.00			41.00
			8.00	8.00	6.67	6.66	6.66	
C2-R2 Cx-Rx<4		4.50	9.00	4.0 a	4.0 a			21.50
		4.50	9.00	6.5 b	6.5 b			26.50
C3-R2 Cx-Rx>5		5.00	16.00		4.0 a	4.0 a		29.00
		5.00	8.00	8.00	6.5 b	6.5 b		34.00
C3-R3 Cx-Rx>5		5.00	16.00		4.0 a	5.0 a	5.0 a	35.00
		5.00	8.0 b	8.0 b	6.5 b	5.0 b	5.0 b	37.50

NOTA: El peso máximo permisible será el menor entre el especificado por el fabricante y el contenido en esta columna.

a : Eje sencillo llanta sencilla.

b : Eje sencillo llanta doble.

Fuente: Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI). Dirección General de Vialidad.

Anexo 5. Factor de distribución por dirección

NUMERO DE CARRILES EN AMBAS DIRECCIONES	LD ¹⁰
2	50
4	45
6 o Mas	40

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el diseño Geométrico de las Carreteras Regionales. SIECA 2001

Anexo 6. Factor de distribución por carril.

Número de carriles en cada dirección	LD
1	1.00
2	0.80 - 1.00
3	0.60 - 0.80
4	0.50 - 0.75

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el diseño Geométrico de las Carreteras Regionales. SIECA 2001

Anexo 7. Periodo de diseño según tipo de carretera.

TIPO DE CARRETERAS	PERIODO DE DISEÑO
Autopista Regional	20- 40 años
Troncales Suburbanas	15-30 años
Troncales Rurales	15-30 años
Colectoras Sub Urbanas	10- 20 años
Colectoras Rurales	10-20 años

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el diseño Geométrico de las Carreteras Regionales. SIECA 2001

Anexo 8. Esfuerzo Equivalente para Pavimentos Sin Apoyo Lateral.

Tabla 2.5.5 Esfuerzo Equivalente para Pavimentos Sin Apoyo Lateral.

Esfuerzo Equivalente- Sin apoyo Lateral
Eje Sencillo / Eje Tandem / Eje Tridem

Espesor de Losa, (pulgadas)	k de la subrasante, pci																				
	50			100			150			200			300			500			700		
	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri
4.0	825	679	510	726	585	456	671	542	437	634	516	428	584	486	419	523	457	414	484	443	412
4.5	699	586	439	616	500	380	571	460	359	540	435	349	498	406	339	488	378	331	417	363	328
5.0	602	516	387	531	436	328	493	399	305	467	376	293	432	349	282	390	321	272	363	307	269
5.5	526	461	347	464	387	290	431	353	266	409	331	253	379	305	240	343	278	230	320	264	226
6.0	465	416	315	411	348	261	382	316	237	362	296	223	336	271	209	304	246	198	285	232	193
6.5	417	380	289	367	317	238	341	286	214	314	267	201	300	244	186	273	220	173	256	207	168
7.0	375	349	267	331	290	219	307	262	196	292	244	183	272	222	167	246	199	154	231	186	148
7.5	340	323	247	300	268	203	279	241	181	265	224	168	246	203	153	224	181	139	210	169	132
8.0	311	300	230	274	249	189	255	223	168	242	208	156	225	188	141	205	167	126	192	155	120
8.5	285	281	215	252	232	117	234	208	158	222	193	145	206	174	131	188	154	116	177	143	109
9.0	264	264	200	232	218	166	216	195	148	205	181	136	190	163	122	174	144	108	163	133	101
9.5	245	248	187	215	205	157	200	183	140	190	170	129	176	153	115	161	134	101	151	124	93
10.0	228	235	174	200	193	148	186	173	132	177	160	122	164	144	108	150	126	95	141	117	87
10.5	213	222	163	187	183	140	174	164	125	165	151	115	153	136	103	140	119	89	132	110	82
11.0	200	211	153	175	174	132	163	155	119	154	143	110	144	129	98	131	113	85	123	104	78
11.5	188	201	142	165	165	125	153	148	113	145	136	104	135	122	93	123	107	80	116	98	74
12.0	177	192	133	155	158	119	144	141	108	137	130	100	127	116	89	116	102	77	109	93	70
12.5	168	183	123	147	151	113	136	135	103	129	124	95	120	111	85	109	97	73	103	89	67
13.0	159	176	114	139	144	107	129	129	98	122	119	91	113	106	81	103	93	70	97	85	64
13.5	152	168	105	132	138	101	122	123	93	116	114	87	107	102	78	98	89	67	92	81	64
14.0	144	162	97	125	133	96	116	118	89	110	109	83	102	98	75	93	85	65	88	78	59

Fuente: Manual de Pavimentos de Concreto CEMEX

Anexo 9. Esfuerzo Equivalente para Pavimentos Con Apoyo Lateral.

Tabla 2.5.5 Esfuerzo Equivalente para Pavimentos Con Apoyo Lateral.

Esfuerzo Equivalente- Con apoyo Lateral
Eje Sencillo / Eje Tandem / Eje Tridem

Espesor de Losa, (pulgadas)	k de la subrasante, pci																				
	50			100			150			200			300			500			700		
	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri
4.0	640	534	431	559	468	392	517	439	377	489	422	369	452	403	362	409	388	360	383	384	359
4.5	547	461	365	479	400	328	444	371	313	421	356	305	390	338	297	355	322	292	333	316	291
5.0	475	404	317	417	349	281	387	323	266	367	308	258	341	290	250	311	274	244	294	267	242
5.5	418	360	279	368	309	246	342	285	231	324	271	223	302	254	214	276	238	208	261	231	206
6.0	372	325	249	327	277	218	304	255	204	289	241	196	270	225	187	247	210	180	234	203	178
6.5	334	295	225	294	251	196	274	230	183	260	218	175	243	203	166	223	188	159	212	180	156
7.0	302	270	204	266	230	178	248	210	165	236	198	158	220	184	149	203	170	142	192	162	138
7.5	275	250	187	243	211	162	226	193	151	215	182	143	201	168	135	185	155	127	176	148	124
8.0	252	232	172	222	196	149	207	179	138	197	168	131	185	155	123	170	142	116	162	135	112
8.5	232	216	159	205	182	138	191	166	128	182	156	121	170	144	113	157	131	106	150	125	102
9.0	215	202	147	190	171	128	177	155	119	169	146	112	158	134	105	146	122	98	139	116	94
9.5	200	190	134	176	160	120	164	146	111	157	137	105	147	126	98	136	114	91	129	108	87
10.0	186	179	127	164	151	112	153	137	104	146	129	98	137	118	91	127	107	84	121	101	81
10.5	174	170	119	154	143	105	144	130	97	137	121	92	128	111	86	119	101	79	113	95	76
11.0	164	161	111	144	135	99	135	123	92	129	115	87	120	105	81	112	95	74	106	90	71
11.5	154	153	104	136	128	93	127	117	86	121	109	82	113	100	76	105	90	70	100	85	67
12.0	145	146	97	128	122	88	120	111	82	114	104	78	107	95	72	99	86	66	95	81	63
12.5	137	139	91	121	117	83	113	106	78	108	99	74	101	91	68	94	82	63	90	77	60
13.0	130	133	85	115	112	79	107	101	74	102	95	70	96	86	65	89	78	60	85	73	57
13.5	124	124	80	109	107	75	102	97	70	97	91	67	91	83	62	85	74	57	81	70	54
14.0	118	122	75	104	103	71	97	93	67	93	87	63	87	79	59	81	71	54	77	67	51

Fuente: Manual de Pavimentos de Concreto CEMEX

Anexo 10. Análisis de Fatiga con o sin apoyo lateral.

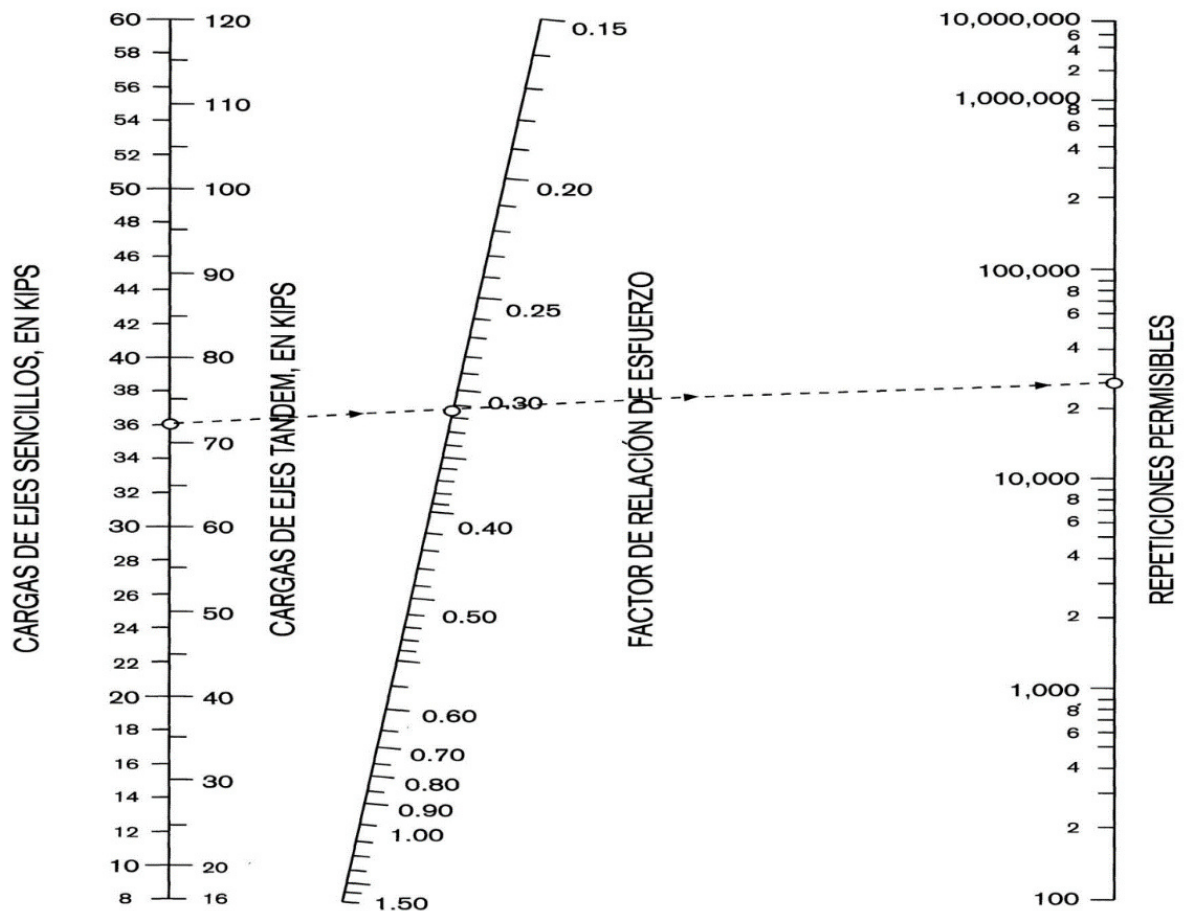


FIGURA 2.5.5. Análisis de fatiga (Repeticiones permisibles basadas en el factor de relación de esfuerzo, con ó sin apoyo lateral).

Fuente: Manual de Pavimentos de Concreto CEMEX

Anexo 11. Factores de Erosión, para Pavimentos con Pasajuntas y Sin Apoyo Lateral

Tabla No. 2.5.7- Factores de Erosión, para Pavimentos con Pasajuntas y Sin Apoyo Lateral.

**Factores de Erosión - Con Pasajuntas - Sin Apoyo Lateral
Eje Sencillo / Eje Tandem / Eje Tridem**

Espesor de Losa, (pulgadas)	k de la subrasante, pci																	
	50			100			200			300			500			700		
	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri
4.0	3.74	3.83	3.89	3.73	3.79	3.82	3.72	3.75	3.75	3.71	3.73	3.70	3.70	3.70	3.61	3.68	3.67	3.53
4.5	3.59	3.70	3.78	3.57	3.65	3.69	3.56	3.61	3.62	3.55	3.58	3.57	3.54	3.55	3.50	3.52	3.53	3.44
5.0	3.45	3.58	3.68	3.43	3.52	3.58	3.42	3.48	3.50	3.41	3.45	3.46	3.40	3.42	3.40	3.38	3.40	3.34
5.5	3.33	3.47	3.59	3.31	3.41	3.49	3.29	3.36	3.40	3.28	3.33	3.36	3.27	3.30	3.30	3.26	3.28	3.25
6.0	3.22	3.38	3.51	3.19	3.31	3.40	3.18	3.26	3.31	3.17	3.23	3.26	3.15	3.20	3.21	3.14	3.17	3.16
6.5	3.11	3.29	3.44	3.09	3.22	3.33	3.07	3.16	3.23	3.06	3.13	3.18	3.05	3.10	3.12	3.03	3.07	3.08
7.0	3.02	3.21	3.37	2.99	3.14	3.26	2.97	3.08	3.16	2.96	3.05	3.10	2.95	3.01	3.04	2.94	2.98	3.00
7.5	2.93	3.14	3.31	2.71	3.06	3.20	2.88	3.00	3.09	2.87	2.97	3.03	2.86	2.93	2.97	2.84	2.90	2.93
8.0	2.85	3.07	3.26	2.82	2.99	3.14	2.80	2.93	3.03	2.79	2.89	2.97	2.77	2.85	2.90	2.76	2.82	2.86
8.5	2.77	3.01	3.20	2.74	2.93	3.09	2.72	2.86	2.97	2.71	2.82	2.91	2.69	2.78	2.84	2.68	2.75	2.79
9.0	2.70	2.96	3.15	2.67	2.87	3.04	2.65	2.80	2.92	2.63	2.76	2.86	2.62	2.71	2.78	2.61	2.68	2.73
9.5	2.63	2.90	3.11	2.60	2.81	2.99	2.58	2.74	2.87	2.56	2.70	2.81	2.55	2.65	2.73	2.54	2.62	2.68
10.0	2.56	2.85	3.06	2.54	2.76	2.94	2.51	2.68	2.83	2.50	2.64	2.76	2.48	2.59	2.68	2.47	2.56	2.63
10.5	2.50	2.81	3.02	2.47	2.71	2.90	2.45	2.63	2.78	2.44	2.59	2.72	2.42	2.54	2.64	2.41	2.51	2.58
11.0	2.44	2.76	2.98	2.42	2.67	2.86	2.39	2.58	2.74	2.38	2.54	2.68	2.36	2.49	2.59	2.35	2.45	2.54
11.5	2.38	2.72	2.94	2.36	2.62	2.82	2.33	2.54	2.70	2.32	2.49	2.64	2.30	2.44	2.55	2.29	2.40	2.50
12.0	2.33	2.68	2.91	2.30	2.58	2.79	2.28	2.49	2.67	2.26	2.44	2.60	2.25	2.39	2.51	2.23	2.36	2.46
12.5	2.28	2.64	2.87	2.25	2.54	2.75	2.23	2.45	2.63	2.21	2.40	2.56	2.19	2.35	2.48	2.18	2.31	2.42
13.0	2.23	2.61	2.84	2.20	2.50	2.72	2.18	2.41	2.60	2.16	2.36	2.53	2.14	2.30	2.44	2.13	2.27	2.39
13.5	2.18	2.57	2.81	2.15	2.47	2.68	2.13	2.37	2.56	2.11	2.32	2.49	2.09	2.26	2.41	2.08	2.23	2.35
14.0	2.13	2.54	2.78	2.11	2.43	2.65	2.08	2.34	2.53	2.07	2.29	2.46	2.05	2.23	2.38	2.03	2.19	2.32

Fuente: Manual de Pavimentos de Concreto CEMEX

Anexo 12. Factores de erosión, para pavimentos Sin Pasajuntas y Sin Apoyo Lateral

Tabla No. 2.5.8- Factores de Erosión, para Pavimentos sin Pasajuntas y Sin Apoyo Lateral.

**Factores de Erosión - Sin Pasajuntas - Sin Apoyo Lateral
Eje Sencillo / Eje Tandem / Eje Tridem**

Espesor de Losa, (pulgadas)	k de la subrasante, pci																	
	50			100			200			300			500			700		
	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri
4.0	3.94	4.03	4.06	3.91	3.95	3.97	3.88	3.89	3.88	3.86	3.86	3.82	3.82	3.83	3.74	3.77	3.80	3.67
4.5	3.79	3.91	3.95	3.76	3.82	3.85	3.73	3.75	3.76	3.71	3.72	3.70	3.68	3.68	3.63	3.64	3.65	3.56
5.0	3.66	3.91	3.85	3.63	3.72	3.75	3.60	3.64	3.66	3.58	3.60	3.60	3.55	3.55	3.52	3.52	3.52	3.46
5.5	3.54	3.72	3.76	3.51	3.62	3.66	3.48	3.53	3.56	3.46	3.49	3.51	3.43	3.44	3.43	3.41	3.40	3.37
6.0	3.44	3.64	3.68	3.40	3.53	3.58	3.37	3.44	3.48	3.35	3.40	3.42	3.32	3.34	3.35	3.30	3.30	3.29
6.5	3.34	3.56	3.61	3.30	3.46	3.50	3.26	3.36	3.40	3.25	3.31	3.34	3.22	3.25	3.27	3.20	3.21	3.21
7.0	3.26	3.49	3.54	3.21	3.39	3.43	3.17	3.29	3.33	3.15	3.24	3.27	3.13	3.17	3.20	3.11	3.13	3.14
7.5	3.18	3.43	3.48	3.13	3.32	3.37	3.09	3.22	3.26	3.07	3.17	3.20	3.04	3.10	3.13	3.02	3.06	3.08
8.0	3.11	3.37	3.42	3.05	3.26	3.31	3.01	3.16	3.20	2.99	3.10	3.14	2.96	3.03	3.07	2.94	2.99	3.01
8.5	3.04	3.32	3.37	2.98	3.21	3.25	2.93	3.10	3.15	2.91	3.04	3.09	2.88	2.97	3.01	2.87	2.93	2.96
9.0	2.98	3.27	3.32	2.91	3.16	3.20	2.86	3.05	3.09	2.84	2.99	3.03	2.81	2.92	2.95	2.79	2.87	2.90
9.5	2.92	3.22	3.27	2.85	3.11	3.15	2.80	3.00	3.04	2.77	2.94	2.98	2.75	2.86	2.90	2.73	2.81	2.85
10.0	2.86	3.18	3.22	2.79	3.06	3.11	2.74	2.95	3.00	2.71	2.89	2.93	2.68	2.81	2.85	2.66	2.76	2.80
10.5	2.81	3.14	3.18	2.74	3.02	3.06	2.68	2.91	2.95	2.65	2.84	2.89	2.62	2.76	2.81	2.60	2.72	2.76
11.0	2.77	3.10	3.14	2.69	2.98	3.02	2.63	2.86	2.91	2.60	2.80	2.84	2.57	2.72	2.77	2.54	2.67	2.71
11.5	2.72	3.06	3.10	2.64	2.94	2.98	2.58	2.82	2.87	2.55	2.76	2.80	2.51	2.68	2.72	2.49	2.63	2.67
12.0	2.68	3.03	3.07	2.60	2.90	2.95	2.53	2.78	2.83	2.50	2.72	2.76	2.46	2.64	2.68	2.44	2.59	2.63
12.5	2.64	2.99	3.03	2.55	2.87	2.91	2.48	2.75	2.79	2.45	2.68	2.73	2.41	2.60	2.65	2.39	2.55	2.59
13.0	2.60	2.96	3.00	2.51	2.83	2.88	2.44	2.71	2.76	2.40	2.65	2.69	2.36	2.56	2.61	2.34	2.51	2.56
13.5	2.56	2.93	2.97	2.47	2.80	2.84	2.40	2.68	2.73	2.36	2.61	2.66	2.32	2.53	2.58	2.30	2.48	2.52
14.0	2.53	2.90	2.94	2.44	2.77	2.81	2.36	2.65	2.69	2.32	2.58	2.63	2.28	2.50	2.54	2.25	2.44	2.49

Fuente: Manual de Pavimentos de Concreto CEMEX

Anexo 13. Análisis por erosión Sin apoyo Lateral.

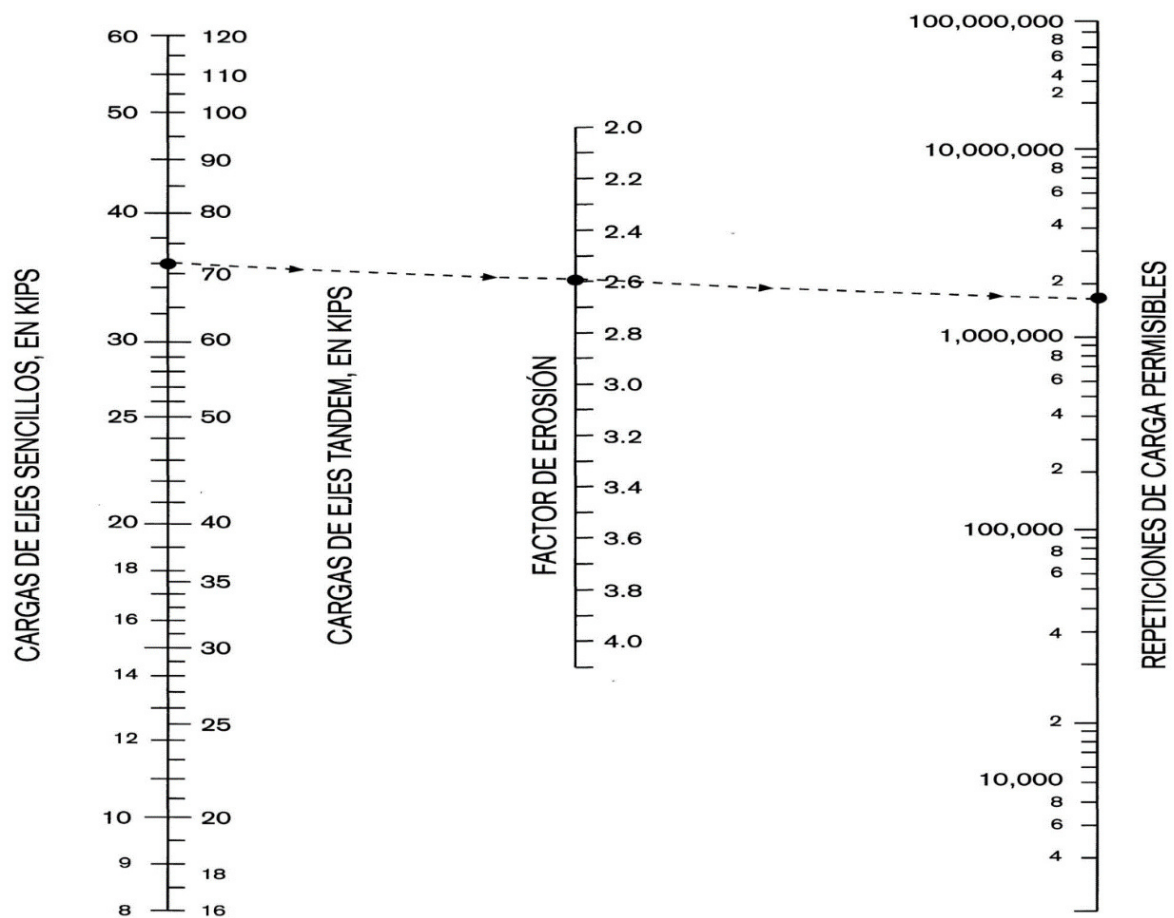


Figura 2.5.6 Análisis de Erosión. (Repeticiones permisibles basadas en el factor de erosión, sin apoyo lateral).

Fuente: Manual de Pavimentos de Concreto CEMEX

Anexo 14. Factores de Erosión, para Pavimentos con Pasajuntas y Con Apoyo Lateral.

Tabla No. 2.5.9- Factores de Erosión, para Pavimentos con Pasajuntas y Con Apoyo Lateral.

Factores de Erosión - Con Pasajuntas - Con Apoyo Lateral
Eje Sencillo / Eje Tandem / Eje Tridem

Espesor de Losa, (pulgadas)	k de la subrasante, pci																	
	50			100			200			300			500			700		
	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri
4.0	3.28	3.30	3.33	3.24	3.20	3.20	3.21	3.13	3.13	3.19	3.10	3.10	3.15	3.09	3.05	3.12	3.08	3.00
4.5	3.13	3.19	3.24	3.09	3.08	3.10	3.06	3.00	2.99	3.04	2.96	2.95	3.01	2.93	2.91	2.98	2.91	2.87
5.0	3.01	3.09	3.16	2.97	2.98	3.01	2.93	2.89	2.89	2.90	2.84	2.83	2.87	2.79	2.79	2.85	2.77	2.75
5.5	2.90	3.01	3.09	2.85	2.89	2.94	2.81	2.79	2.80	2.79	2.74	2.74	2.76	2.68	2.67	2.73	2.65	2.64
6.0	2.79	2.93	3.03	2.75	2.82	2.87	2.70	2.71	2.73	2.68	2.65	2.66	2.65	2.58	2.58	2.62	2.54	2.54
6.5	2.70	2.86	2.97	2.65	2.75	2.82	2.61	2.63	2.67	2.58	2.57	2.59	2.55	2.50	2.50	2.52	2.45	2.45
7.0	2.61	2.79	2.82	2.56	2.68	2.76	2.52	2.56	2.61	2.49	2.50	2.53	2.46	2.42	2.43	2.43	2.38	2.37
7.5	2.53	2.73	2.87	2.48	2.62	2.72	2.44	2.50	2.56	2.41	2.44	2.47	2.38	2.36	2.37	2.35	2.31	2.31
8.0	2.46	2.68	2.83	2.41	2.56	2.67	2.36	2.44	2.51	2.33	2.38	2.42	2.30	2.30	2.32	2.27	2.24	2.25
8.5	2.39	2.62	2.79	2.34	2.51	2.63	2.29	2.39	2.47	2.26	2.32	2.38	2.22	2.24	2.27	2.20	2.18	2.20
9.0	2.32	2.57	2.75	2.27	2.46	2.59	2.22	2.34	2.43	2.19	2.27	2.34	2.16	2.19	2.23	2.13	2.13	2.15
9.5	2.26	2.52	2.71	2.21	2.41	2.55	2.16	2.29	2.39	2.13	2.22	2.30	2.09	2.14	2.18	2.07	2.08	2.11
10.0	2.20	2.47	2.67	2.15	2.36	2.51	2.10	2.25	2.35	2.07	2.18	2.26	2.03	2.09	2.15	2.01	2.03	2.07
10.5	2.15	2.43	2.64	2.09	2.32	2.48	2.04	2.20	2.32	2.01	2.14	2.23	1.97	2.05	2.11	1.95	1.99	2.04
11.0	2.10	2.39	2.60	2.04	2.28	2.45	1.99	2.16	2.29	1.95	2.09	2.20	1.92	2.01	2.08	1.89	1.95	2.00
11.5	2.05	2.35	2.57	1.99	2.24	2.42	1.93	2.12	2.26	1.90	2.05	2.16	1.87	1.97	2.05	1.84	1.91	1.97
12.0	2.00	2.31	2.54	1.94	2.20	2.39	1.88	2.09	2.23	1.85	2.02	2.13	1.82	1.93	2.02	1.79	1.87	1.94
12.5	1.95	2.27	2.51	1.89	2.16	2.36	1.84	2.05	2.20	1.81	1.98	2.11	1.77	1.89	1.99	1.74	1.84	1.91
13.0	1.91	2.23	2.48	1.85	2.13	2.33	1.79	2.04	2.17	1.76	1.95	2.08	1.72	1.86	1.96	1.70	1.80	1.88
13.5	1.86	2.20	2.46	1.81	2.09	2.30	1.75	1.98	2.14	1.72	1.91	2.05	1.68	1.83	1.93	1.65	1.77	1.86
14.0	1.82	2.17	2.43	1.76	2.06	2.28	1.71	1.95	2.12	1.67	1.88	2.03	1.64	1.80	1.91	1.61	1.74	1.83

Fuente: Manual de Pavimentos de Concreto CEMEX

Anexo 15. Factores de Erosión, para Pavimentos sin Pasajuntas y Con Apoyo Lateral

Tabla No. 2.5.10- Factores de Erosión, para Pavimentos sin Pasajuntas y Con Apoyo Lateral.

Factores de Erosión - Sin Pasajuntas - Con Apoyo Lateral
Eje Sencillo / Eje Tandem / Eje Tridem

Espesor de Losa, (pulgadas)	k de la subrasante, pci																	
	50			100			200			300			500			700		
	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri
4.0	3.46	3.49	3.50	3.42	3.39	3.38	3.38	3.32	3.30	3.36	3.29	3.25	3.32	3.26	3.21	3.28	3.24	3.16
4.5	3.32	3.39	3.40	3.28	3.28	3.28	3.24	3.19	3.18	3.22	3.16	3.13	3.19	3.12	3.08	3.15	3.09	3.04
5.0	3.20	3.30	3.32	3.16	3.18	3.19	3.12	3.09	3.08	3.10	3.05	3.03	3.07	3.00	2.97	3.04	2.97	2.93
5.5	3.10	3.22	3.26	3.05	3.10	3.11	3.01	3.00	3.00	2.99	2.95	2.94	2.96	2.90	2.87	2.93	2.86	2.83
6.0	3.00	3.15	3.20	2.95	3.02	3.05	2.90	2.92	2.92	2.88	2.87	2.86	2.86	2.81	2.79	2.83	2.77	2.74
6.5	2.91	3.08	3.41	2.86	2.96	2.99	2.81	2.85	2.86	2.79	2.79	2.79	2.76	2.73	2.72	2.74	2.68	2.67
7.0	2.83	3.02	3.09	2.77	2.90	2.94	2.73	2.78	2.80	2.70	2.72	2.73	2.68	2.66	2.65	2.65	2.61	2.0
7.5	2.76	2.97	3.05	2.70	2.84	2.89	2.65	2.72	2.75	2.62	2.66	2.67	2.60	2.59	2.59	2.57	2.54	2.54
8.0	2.69	2.92	3.01	2.60	2.79	2.84	2.57	2.67	2.70	2.55	2.61	2.62	2.52	2.53	2.54	2.50	2.48	2.48
8.5	2.63	2.88	2.97	2.56	2.74	2.80	2.51	2.62	2.65	2.48	2.55	2.58	2.45	2.48	2.49	2.43	2.43	2.43
9.0	2.57	2.83	2.94	2.50	2.70	2.77	2.44	2.57	2.61	2.42	2.51	2.53	2.39	2.43	2.44	2.36	2.38	2.38
9.5	2.51	2.79	2.91	2.44	2.65	2.73	2.38	2.53	2.58	2.36	2.46	2.49	2.33	2.38	2.40	2.30	2.33	2.34
10.0	2.46	2.75	2.88	2.39	2.61	2.70	2.33	2.49	2.54	2.30	2.51	2.46	2.27	2.34	2.36	2.24	2.28	2.29
10.5	2.41	2.72	2.85	2.33	2.58	2.67	2.27	2.45	2.51	2.24	2.38	2.42	2.21	2.30	2.32	2.19	2.24	2.26
11.0	2.36	2.68	2.83	2.28	2.54	2.65	2.22	2.41	2.48	2.19	2.34	2.39	2.16	2.26	2.29	2.14	2.20	2.22
11.5	2.32	2.65	2.80	2.24	2.51	2.62	2.17	2.37	2.45	2.14	2.31	2.36	2.11	2.22	2.26	2.09	2.16	2.19
12.0	2.28	2.62	2.78	2.19	2.48	2.59	2.13	2.34	2.54	2.10	2.27	2.33	2.06	2.19	2.23	2.01	2.13	2.16
12.5	2.24	2.59	2.76	2.15	2.45	2.57	2.09	2.31	2.40	2.05	2.24	2.31	2.02	2.15	2.20	1.99	2.10	2.13
13.0	2.20	2.56	2.74	2.11	2.42	2.55	2.04	2.28	2.38	2.01	2.21	2.28	1.98	2.15	2.17	1.95	2.06	2.10
13.5	2.16	2.53	2.72	2.08	2.39	2.53	2.00	2.25	2.35	1.97	2.18	2.26	1.93	2.09	2.15	1.91	2.03	2.07
14.0	2.13	2.51	2.70	2.04	2.36	2.51	1.97	2.23	2.33	1.93	2.15	2.24	1.89	2.06	2.12	1.87	2.00	2.05

Fuente: Manual de Pavimentos de Concreto CEMEX

Anexo 16. Análisis de Erosión con apoyo lateral.

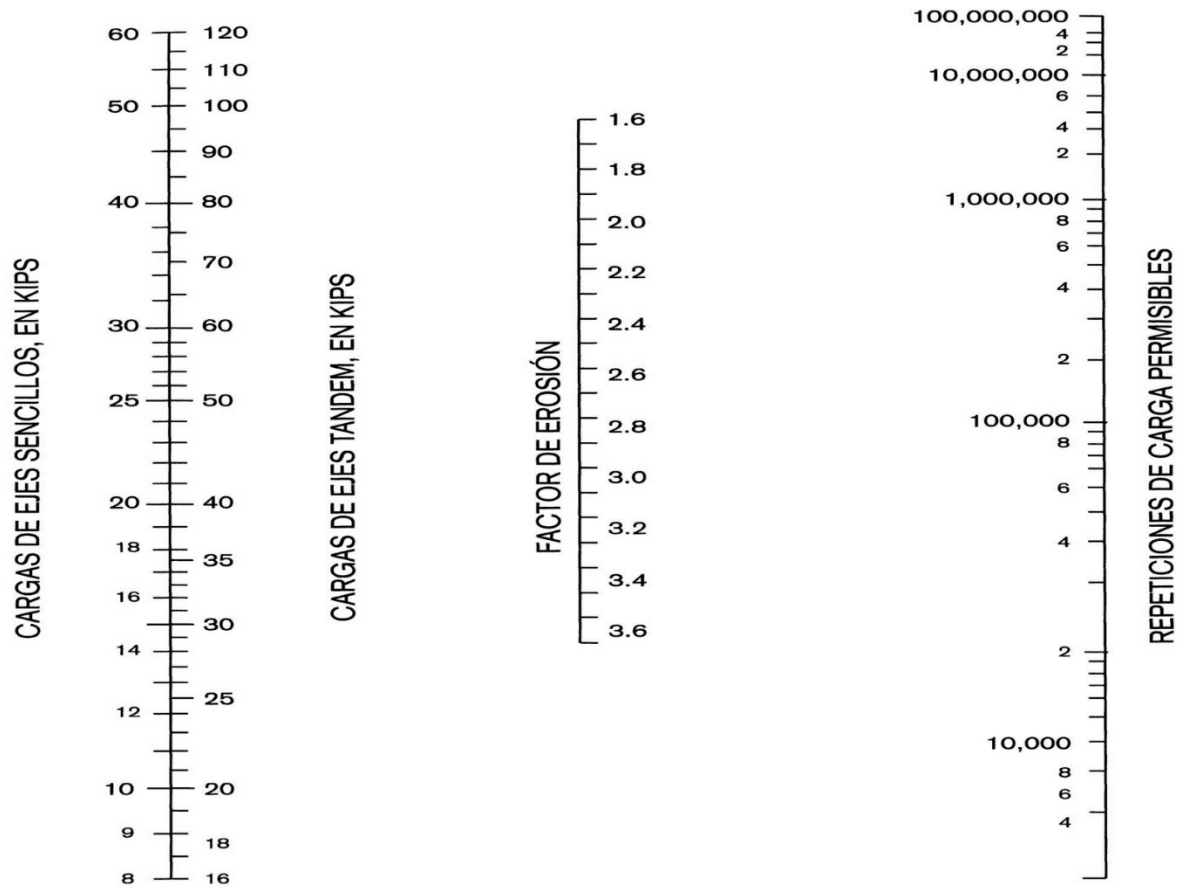


Figura 2.5.7 Análisis de Erosión. (Repeticiones permisibles basadas en el factor de erosión, con apoyo lateral).

Fuente: Manual de Pavimentos de Concreto CEMEX